

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/10.12.2019.Т.03.03
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

НИЁЗОВ НЎМОН НИЗОМИДДИНОВИЧ

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ ИСТЕЪМОЛИ ПАРАМЕТРЛАРИНИ
ПРОГНОЗЛАШНИНГ МОДЕЛ ВА АЛГОРИТМЛАРИ
(«Uz Truck & Bus Motors» ҚК мисолида)**

05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Ниёзов Нўмон Низомиддинович

Электр энергияси истеъмоли параметрларини прогнозлашнинг модел ва алгоритмлари («Uz Truck & Bus Motors» ҚК мисолида) 3

Ниёзов Нўмон Низомиддинович

Модели и алгоритмы прогнозирования параметров потребления электроэнергии» (на примере «Uz Truck & Bus Motors») 21

Niyozov Numon Nizomiddinovich

Models and algorithms for forecasting electricity consumption parameters (in the example of «Uz Truck & Bus Motors») 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 42

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/10.12.2019.Т.03.03
РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

НИЁЗОВ НЎМОН НИЗОМИДДИНОВИЧ

**ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ ИСТЕЪМОЛИ ПАРАМЕТРЛАРИНИ
ПРОГНОЗЛАШНИНГ МОДЕЛ ВА АЛГОРИТМЛАРИ
(«Uz Truck & Bus Motors» ҚК мисолида)**

05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2022

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси қошидаги Олий аттестация комиссиясида В2022.1.PhD/T1829 рақами билан рўйхатга олинган.

Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.tdtu.uz) ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Рахмонов Икромжон Усмонович

техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), доцент

Расмий оппонентлар:

Худаяров Музаффар Бурханович

техника фанлари доктори, катта илмий ходим

Реймов Камал Мамбеткаримович

техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), доцент

Етакчи ташкилот:

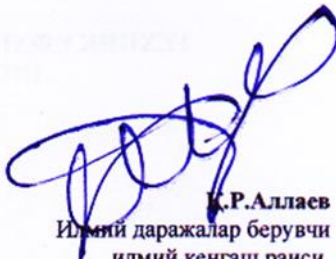
Навоий давлат кончилиқ институти

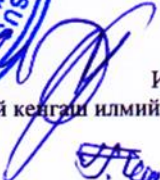
Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/10.12.2019.T.03.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «2» 04 соат 11⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@edu.uz).

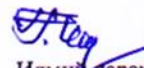
Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (248 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси., 2. Тел.: (99871) 207-14-70).

Диссертация автореферати 2022 йил «18» 03 куни тарқатилди.
(2022 йил «16» 03 даги 2 рақамли реестр баённомаси).




К.Р.Аллаев
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш раиси,
техника фанлари доктори, профессор,
академик


О.Х.Ишназаров
Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, техника фанлари
доктори, профессор


Т.Ш.Гайилов
Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,
техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (докторлик (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда саноат корхоналарида ишлаб чиқарилаётган маҳсулот ва унга сарф бўлаётган электр энергияси ўртасидаги муносабатни барқарорлаштириш, электр энергиясининг истеъмол параметрларини юқори аниқликда прогнозлаш асосида маҳсулот таннархидаги энергия ҳаражатларини камайтиришга алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда ривожланган мамлакатларда «... машинасозлик корхоналари томонидан ишлаб чиқарилаётган маҳсулотлар тармоқнинг 35 % ини ташкил қилиб, ўз ичига 70 га яқин тармоқ ва 300 турдаги ишлаб чиқариш жараёнларини олади»¹. Бу борада, жумладан машинасозлик корхоналарининг электр энергияси параметрларини прогнозлаш усулларини такомиллаштириш ҳамда модел ва алгоритмлар асосида электр энергияси ишлатилиши самарадорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда саноат корхоналарининг, хусусан энергия сифимдорлиги юқори бўлган машинасозлик корхоналарида электр энергияси истеъмолини прогнозлаш модел ва алгоритмларини ишлаб чиқишда сунъий интеллектга асосланган усулларни қўллаш орқали ишлаб чиқарилаётган маҳсулот рақобатбардошлигини ошириш, унинг таннархида энергия ҳаражатларини камайтиришда корхонанинг келгуси давр учун электр энергияси истеъмолини юқори аниқликда прогнозлашга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан электр энергияси параметрларининг ўзгариш қонуниятларини энергетик характеристикаларнинг корреляцион боғланишлари асосида аниқлаш, маҳсулот номенклатураси бўйича электр энергиясининг солиштира сарф кўрсаткичларини прогнозлаш усулларини такомиллаштириш бўйича тадқиқотлар устивор ҳисобланади. Шу билан бирга, технологик жараён хусусиятидан келиб чиқиб, электр энергияси истеъмолига таъсир этувчи факторларни ҳисобга олиб, сунъий интеллектга асосланган прогнозлаш модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш долзарб вазифалардан ҳисобланади.

Республикамизда ишлаб чиқарилаётган маҳсулотлар таннархини камайтириш мақсадида энергия ресурсларининг ишлатилиши самарадорлигини ошириш, янги технологик ечимларни яратиш ва такомиллаштириш ҳамда жорий этишга доир кенг қўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш, қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш...»² каби вазифалар белгиланган. Ушбу вазифаларни амалга оширишда,

¹https://mmi.fem.sumdu.edu.ua/sites/default/files/mmi2015_3_84_104.pdf

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони <https://lex.uz/docs/3107042>

машинасозлик корхоналари электр энергияси истеъмоли параметрларининг юқори аниқликда ва ҳисоблаш жараёни содда бўлган, корхона ишлаб чиқараётган маҳсулотлар номенклатурасини ҳамда технологик жараённинг ўзига хос жиҳатларини ҳисобга олиб прогноз кўрсаткичларини аниқлаш усул, модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш масалаларини ечишга қаратилган илмий-тадқиқот ишларини олиб бориш муҳим ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожланириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ПФ-4947-сон Фармони, 2018 йил 4 сентябрдаги ПҚ-3929 “Қишлоқ хўжалиги машинасозлиги тармоғини бошқариш тизимини такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”, 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422 "Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида", 2020 йил 10 июлдаги ПҚ-4779 "Иқтисодиётнинг энергия самарадорлигини ошириш ва мавжуд ресурсларни жалб этиш орқали иқтисодиёт тармоқларининг ёқилғи-энергетика маҳсулотларига қарамлигини камайтиришга доир кўшимча чора-тадбирлар тўғрисида"ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Диссертация иши бўйича тадқиқотлар Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик» устувор йўналишига мос келади.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Машинасозлик корхоналарида электр энергияси параметрларининг ўзгариш қонуниятларини тадқиқ этиш, кўп факторли таҳлил асосида электр энергиясини прогнозлаш усуллари, модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш ва пировардида электр энергияси ишлатилиши самарадорлигини ошириш масалаларига қаратилган илмий тадқиқотлар дунёнинг кўплаб етакчи илмий-тадқиқот марказлари ва олий ўқув юртларида, хусусан: California Institute of Technology (АҚШ), University of Michigan (АҚШ), Zhejiang University (Хитой), University of Waterloo (Канада), Tsinghua University (Китай), Dresden University of Technology (Германия), Tokyo technology institute (Япония), University of California Berkeley (США), University of Malaya (Малайзия), Polytechnic University of Milan (Италия), Миллий тадқиқот униерситети (МЭИ) (Россия), Hong Kong Polytechnic University (Хитой), Н.Э.Бауман номидаги Москва давлат техника университети (Россия), Тошкент давлат техника университети (Ўзбекистон), Энергетика муаммолари институти (Ўзбекистон) ва бошқаларда амалга оширилмоқда.

Саноат корхоналарида электр энергияси истеъмолининг прогноз кўрсаткичларини аниқлаш усул ва моделларини яратиш, мавжудларини такомиллаштириш каби масалаларни ҳал қилишда бир қатор таниқли

хорижий олимлар катта ҳисса қўшганлар, жумладан D.V.Benn, K.D.Lyuis, S. Makridakis, R.E.Kalman, C.E.Shannon, И.В.Гофман, В.И.Вейц, А.А.Тайц, Б.И.Кудрин, В.К.Олейников, Г.В.Никифоров, Б.П.Белых, Б.И.Заславца, С.С.Новиков, Е.Ю.Сизганова, Л.С.Родина, И.В.Воронов, К.Л.Соломохо, И.М.Кирпичникова, Л.А.Саплин, В.В. Иванов, А.А.Филимонова ва бошқалар.

Электр энергетика тизимларида ҳамда саноат корхоналарида электр энергияси истеъмолини оператив режалаштириш ва прогнозлашнинг математик модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш каби илмий муаммоларни ҳал қилишда маҳаллий олимларимиздан Х.Ф. Фозилов, Р.А. Захидов, Дж.А. Абдуллаев, Т.Х. Носиров, К.Р.Аллаев, А.Я.Дзевенский, Ф.А.Хошимов, Х.М.Муратов, О.Х.Ишназаров, М.Б.Худаяров, О.З.Тоиров, А.И.Каршибаев, М.Х.Джалилов, И.У.Рахмонов ва бошқалар томонидан ҳам кўплаб тадқиқотлар ўтказилган ҳамда салмоқли натижаларга эришилган.

Сезиларли муваффақиятларга қарамай, машинасозлик корхоналарининг технологик жараёни хусусиятидан келиб чиқиб, электр энергияси истеъмолига таъсир этувчи омилларни ҳисобга олган ҳолда прогнозлаш модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш билан боғлиқ бўлган илмий муаммолар етарли даражада ўрганилмаган. Мазкур диссертация ишида электр энергияси параметрларининг ўзгариш қонуниятларини аниқлаш ҳамда технологик, ишлаб чиқариш ва метеорологик омиллар асосида электр энергия истеъмолини прогнозлашнинг модел ва алгоритмлари аргументларни гуруҳий ҳисобга олиш усули ва сунъий нейрон тармоқлар асосида ишлаб чиқилиб, таққосланган ҳамда юқори аниқликка эга усул таклиф этилган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат техника университетининг илмий тадқиқот ишлари режасига мувофиқ, 11-2020 «Uz Truck & Bus Motors» ҚК энергетик текширув (энерго аудит) ўтказиш» (2020-2021), И-ОТ-2021-23 «Саноат корхоналарининг энергия истеъмоли мониторинги учун автоматлаштирилган дастурий маҳсулот яратиш» (2021-2022) ва Ф-ОТ-2021-236 «Узлуксиз режимда ишловчи саноат корхоналарида электр энергия истеъмолини комплекс бошқаришнинг қонуниятларини тадқиқ этиш» (2021-2026) лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади. Машинасозлик корхоналарининг электр энергияси истеъмоли параметрларини прогнозлашнинг модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг вазифалари:

саноат корхоналарида электр энергияси истеъмолини прогнозлашнинг жорий ҳолатини ҳамда машинасозлик корхоналарининг технологик жараёни ва электр энергияси истеъмолини таҳлил этиш;

электр энергияси параметрларининг ўзгариш қонуниятларини аниқлаш;

электр энергиясининг прогнозлаш модел ва алгоритмларини ишлаб чиқиш ҳамда электр энергияси истеъмолини прогнозлашнинг энг мақбул

усулларини танлаш;

маҳсулот номенклатураси кесимида маҳсулот бирлигига тўғри келувчи электр энергиясининг солиштирма сарф кўрсаткичларини аниқлаш усулини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида машинасозлик корхоналари олинган.

Тадқиқотнинг предмети машинасозлик корхонасининг электр энергияси истеъмоли жараёнларини ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида корреляцион ва регрессион таҳлил, математик статистика, энг кичик квадратлар, прогнозлаш масалаларини ечишда экспоненциал, логарифмик, аргументларни гуруҳий ҳисобга олиш, сунъий нейрон тармоқлар усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

электр энергияси параметрларининг ўзгариш қонунияти умумий ва солиштирма сарф кўрсаткичининг маҳсулот ҳажми асосида такомиллаштирилган;

электр энергия истеъмолини прогнозлаш модели ва алгоритми технологик, ишлаб чиқариш ва метеорологик омилларни ҳисобга олган ҳолда сунъий нейрон тармоқлар асосида такомиллаштирилган;

электр энергиясининг солиштирма сарф кўрсаткичларининг маҳсулот номенклатураси кесимида аниқлаш усули ишлаб чиқилган;

электр энергия истеъмолини прогнозлашнинг хатолигини камайтириш усули дастлабки маълумотлар сони ва таркибини ростлаш асосида ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

машинасозлик корхоналарида электр энергияси истеъмоли параметрларини, хусусан электр энергияси истеъмоли ва унинг солиштирма сарф кўрсаткичини прогнозлаш усули тадқиқот объектида ўтказилган экспериментал тадқиқотлар натижалари асосида ишлаб чиқилган;

электр энергиясининг умумий ва маҳсулот бирлигига тўғри келувчи сарф кўрсаткичининг прогноз қийматларини аниқлашнинг дастурий таъминоти ишлаб чиқилган;

электр энергияси истеъмоли параметрларининг прогнозлаш кўрсаткичи хатолигини камайтиришда дастлабки маълумотлар сони ва таркибини ростлаш имконини берувчи дастурий таъминот ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги олинган натижалар ва уларнинг ўзаро мувофиқлиги, ишлаб чиқаришга жорий этиш орқали асосланганлиги, шунингдек, назарий ва ҳисобий-экспериментал натижаларнинг мос келиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти электр энергияси параметрларининг маҳсулот ҳажмига боғлиқ равишда ўзгариш қонуниятларининг тадқиқ этилганлиги, электр энергия истеъмолини прогнозлаш модел ва алгоритмларининг ва маҳсулот бирлигига тўғри келадиган солиштирма сарф кўрсаткичларини аниқлаш усулининг ишлаб чиқилганлиги ҳамда

уларнинг асосланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти таклиф этилган электр энергияси истеъмоли параметрларини прогнозлаш усули ва алгоритмларининг «Uz Truck & Bus Motors» МЧЖ қўшма корхонасига жорий қилинганлигида ҳамда кейинги давр учун прогноз кўрсаткичларини юқори аниқликда ҳисоблаш натижасида жарима тўловларини амалга оширмаслиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Электр энергияси истеъмоли параметрларини прогнозлаш усуллари ва алгоритмларини ишлаб чиқиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

махсулот бирлигига тўғри келадиган электр энергиясининг солиштирма сарфининг прогноз кўрсаткичини аниқлаш усули «Uz Truck & Bus Motors» МЧЖ қўшма корхонасига жорий қилинган (“UzAuto” АЖнинг 2021 йил 29-июндаги 07/05-25-1137-сонли маълумотномаси). Натижада электр энергиясининг солиштирма сарф кўрсаткичларининг ҳисоблаш усулини соддалаштириш ва аниқлигини ошириш имкони яратилган;

электр энергияси истеъмолини прогнозлаш кўрсаткичи хатолигини камайтириш усули «Uz Truck & Bus Motors» МЧЖ қўшма корхонасига жорий қилинган (“UzAuto” АЖнинг 2021 йил 29-июндаги 07/05-25-1137-сонли маълумотномаси). Натижада электр энергия истеъмолини прогнозлаш хатолигини 3% гача камайтириши имкони яратилган;

электр энергияси истеъмолини прогнозлаш модели ва алгоритми «Uz Truck & Bus Motors» МЧЖ қўшма корхонасига жорий қилинган (“UzAuto” АЖнинг 2021 йил 29-июндаги 07/05-25-1137-сонли маълумотномаси). Натижада электр энергия истеъмолини юқори аниқликда прогнозлаш ҳисобига корхонанинг жарима тўловларини амалга оширмаслиги ҳисобидан йилига 103 334 000 (бир юз уч миллион уч юз ўттиз тўрт минг) сўм иқтисодий самарадорликка эришиш имкони яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари илмий-амалий анжуман ва семинарларда, шу жумладан, 3 та халқаро ва 2 та республика анжуманларида апробациядан ўтди.

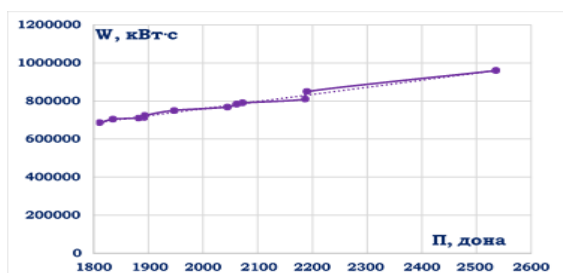
Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 19 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 10 та мақолалар, жумладан 6 та республика ва 2 та чет эл илмий журналларида ҳамда 2 та Scopus базасига кирувчи тўпламларда нашр этилган, 4 та ЭҲМ учун дастурга гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 119 бетдан иборат.

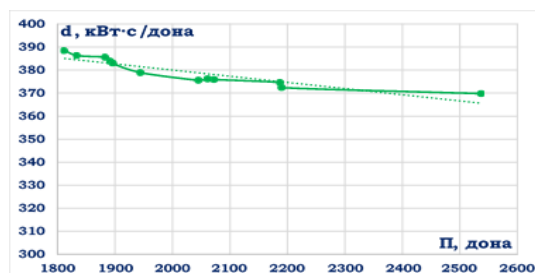
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари, объекти ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган, олинган натижаларнинг илмий-амалий аҳамияти ва ишончилиги ёритилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этилганлиги, ишнинг апробация натижалари, эълон қилинган ишлар ва диссертациянинг тузилиши ва ҳажми бўйича маълумотлар келтирилган.

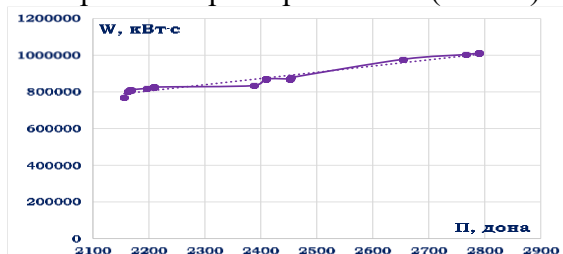
Диссертациянинг «**Машинасозлик корхоналарининг электр энергия истеъмоли ва уни прогнозлашнинг жорий ҳолати**» деб номланган биринчи бобда саноат корхоналарида электр энергия истеъмолини прогнозлашнинг амалдаги усуллари таҳлил қилинган. Машинасозлик корхонасининг технологик жараёни ва электр энергия истеъмоли тавсифи, «Uz Truck & Bus Motors» қўшма корхонасининг электр энергияси истеъмоли параметрларининг ўзгариш қонуниятлари тадқиқи келтирилган.



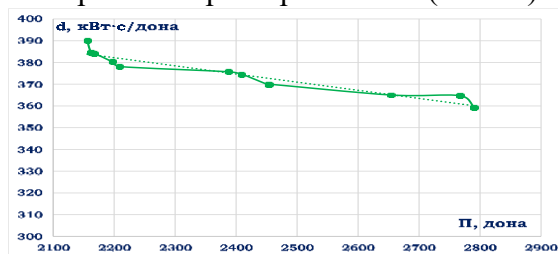
1- расм. Тадқиқот объектнинг $W=f(S)$ энергетик характеристикаси (2018 й)



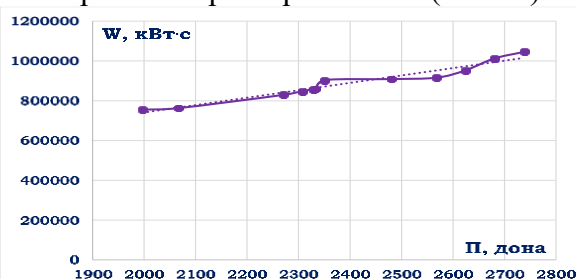
2- расм Тадқиқот объектнинг $d=f(S)$ энергетик характеристикаси (2018 й)



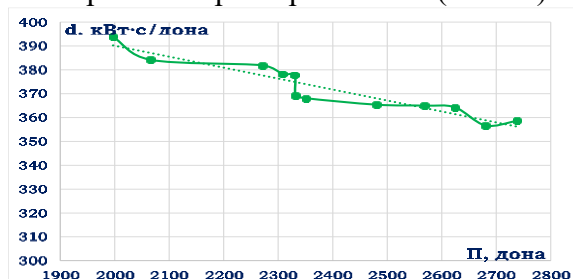
3- расм. Тадқиқот объектнинг $W=f(S)$ энергетик характеристикаси (2019 й)



4- расм. Тадқиқот объектнинг $d=f(S)$ энергетик характеристикаси (2019 й)



5- расм. Тадқиқот объектнинг $W=f(S)$ энергетик характеристикаси (2020 й)



6- расм. Тадқиқот объектнинг $d=f(S)$ энергетик характеристикаси (2020 й)

Энергетик параметрларнинг ўзгариш қонуниятларини аниқлаш 2018-2020 йиллар кесимидаги $W=f(S)$, $d=f(S)$ энергетик характеристикалар таҳлили асосида тадқиқ этилган. Бу ерда W – электр энергияси истеъмоли;

Π - ишлаб чиқарилган маҳсулот сони; d – электр энергияси истеъмолининг солиштирма сарфи. Корхона томонидан тақдим этилган дастлабки маълумотлар асосида энергетик характеристикалар қурилган (1÷6 расмлар).

1÷6 расмларда келтирилган $W=(\Pi)$ ва $d=(\Pi)$ энергетик характеристикалар таҳлили шуни кўрсатадики, 2018-2020 йилларда сарф бўлган электр энергияси ҳамда унинг маҳсулот бирлигига тўғри келадиган солиштирма сарф кўрсаткичи қийматлари мос равишда ишлаб чиқарилаётган

1-жадвал.

Йил	$W=(\Pi)$	r
2018	$W= 373,31 \cdot \Pi + 13275$	$r = 0,9132$
2019	$W= 339,53 \cdot \Pi + 58248$	$r = 0,9220$
2020	$W= 371,92 \cdot \Pi - 2936,4$	$r = 0,8871$
Йил	$d=(\Pi)$	r
2018	$d= -0,0268 \cdot \Pi + 433,52$	$r = 0,9107$
2019	$d= -0,0366 \cdot \Pi + 451,86$	$r = 0,8994$
2020	$d= -0,0459 \cdot \Pi + 481,84$	$r = 0,9141$

маҳсулот ўртасидаги кўрсаткичлари мутаносиб. Бу эса мазкур параметрлар ўртасида боғланишнинг мавжудлигини кўрсатиб, бу боғланиш 1-жадвалда келтирилган математик моделлар ва уларнинг корреляция коэффициентлари натижалари ёрдамида асосланади.

Юқорида келтирилган электр энергияси истеъмоли ва электр энергиянинг солиштирма сарф кўрсаткичини прогнозлашда, корхона томонидан тақдим этилган бирламчи маълумотлар асосида электр энергиясига таъсир этувчи факторларни ҳисобга олиб, электр энергиясини прогнозлаш моделларини ишлаб чиқиш мақсадга мувофиқлигини характерлайди.

Диссертациянинг «Прогнозлаш моделларини ишлаб чиқиш талаблари ва электр энергия истеъмолига таъсир этувчи факторлар» деб номланган иккинчи бобида электр энергия истеъмолини прогнозлашда қўйиладиган талаблар, прогнозлаш моделларини ишлаб чиқишнинг асосий босқичлари ва электр энергияси истеъмолига таъсир этувчи факторлари аниқлашга бағишланган.

Диссертация иши доирасида қўйилган вазифалардан бири электр энергия истеъмолининг прогноз кўрсаткичлари моделларини ишлаб чиқишда электр энергиясига таъсир этувчи факторларни аниқлаш бўлиб, бу ўз навбатида прогнозлаш модели аниқлигини оширишга хизмат қилади. Шундан келиб чиқиб, тадқиқот объектининг электр энергия истеъмолига

2-жадвал.

Фактор-лар	W	T	Π	$Q_{\text{жк}}$	$K_{\text{ши}}$	$K_{\text{дав}}$	$K_{\text{дам}}$	ΔW
W	1							
T	0,721	1						
Π	0,8714	-0,634	1					
$Q_{\text{жк}}$	0,79	0,011	0,78	1				
$K_{\text{ши}}$	0,496	0,48	0,51	0,424	1			
$K_{\text{дав}}$	0,42	0,621	-0,07	-0,376	0,0192	1		
$K_{\text{дам}}$	0,3685	0,43	0,03	-0,05	-0,38	0,051	1	
ΔW	0,81	0,46	0,64	0,683	0,044	0,142	0,784	1

таъсир этувчи факторлар дастлаб эксперт баҳолаш усули асосида аниқланган.

Эксперт баҳолаш усули асосида аниқланган факторларни илмий асослаш мақсадида, ҳар бир факторнинг электр энергиясига таъсир этиш даражасини аниқлаш регрессион-корреляцион таҳлил

қилиш орқали амалга оширилган. Электр энергияси истеъмолига таъсир этувчи факторлар орасида корреляция коэффициенти 0,6 дан юқори бўлган (2-жадвал) (об-ҳаво ҳарорати- T , маҳсулот ҳажми- Π , цехлардаги электр

энергия исрофи- ΔW , қурилмаларнинг юкланиши- $Q_{юк}$) факторлар прогнозлаш моделларига киритилган.

Диссертациянинг «**Машинасозлик корхоналарининг электр энергия истеъмолини прогнозлашнинг математик моделлари**» деб номланган учинчи бобида сунъий интеллектга асосланган аргументларни гуруҳий ҳисобга олиш усули (АГҲОУ) ва сунъий нейрон тармоқлар (СНТ) асосида электр энергия сарфини прогнозлаш модели ва алгоритмини ишлаб чиқиш ҳамда ишлаб чиқилган моделларни таққослашга бағишланган.

Электр энергияси истеъмолини прогнозлашда сунъий интеллектга асосланган усуллардан фойдаланилган бўлиб, дастлаб АГҲОУ нинг *COMBI* ва иккинчи даражали кўп қатламли нейрон тармоқ турларидан фойдаланилган. АГҲОУ ёрдамида электр энергия истеъмолини прогнозлаш кетма-кетликлиги 7-расмда келтирилган алгоритм асосида амалга оширилган.

АГҲОУ алгоритмларни шакллантиришдаги асосий ифодалар:

шаклнинг турли кўпхадлари:
$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x^i; \quad (1)$$

гармоник ёки логистик:
$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n (a_i / (1 + \exp(-x_i))); \quad (2)$$

экспоненциал:
$$y = \sum_{i=0}^n a_i e^{\beta_i}; \quad (3)$$

АГҲОУ алгоритмлари аста-секин мураккаб полиномли моделларни саралашни ва ташқи мезон ёрдамида энг яхши ечимни танлашни таъминлайдиган индуктив процедура билан тавсифланади:

$$Y(x_1, \dots, x_n) = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i f_i \quad (4)$$

АГҲОУ да асосий функция сифатида Колмогоров-Габор полиномининг бир текисда мураккаблашиши олинади:

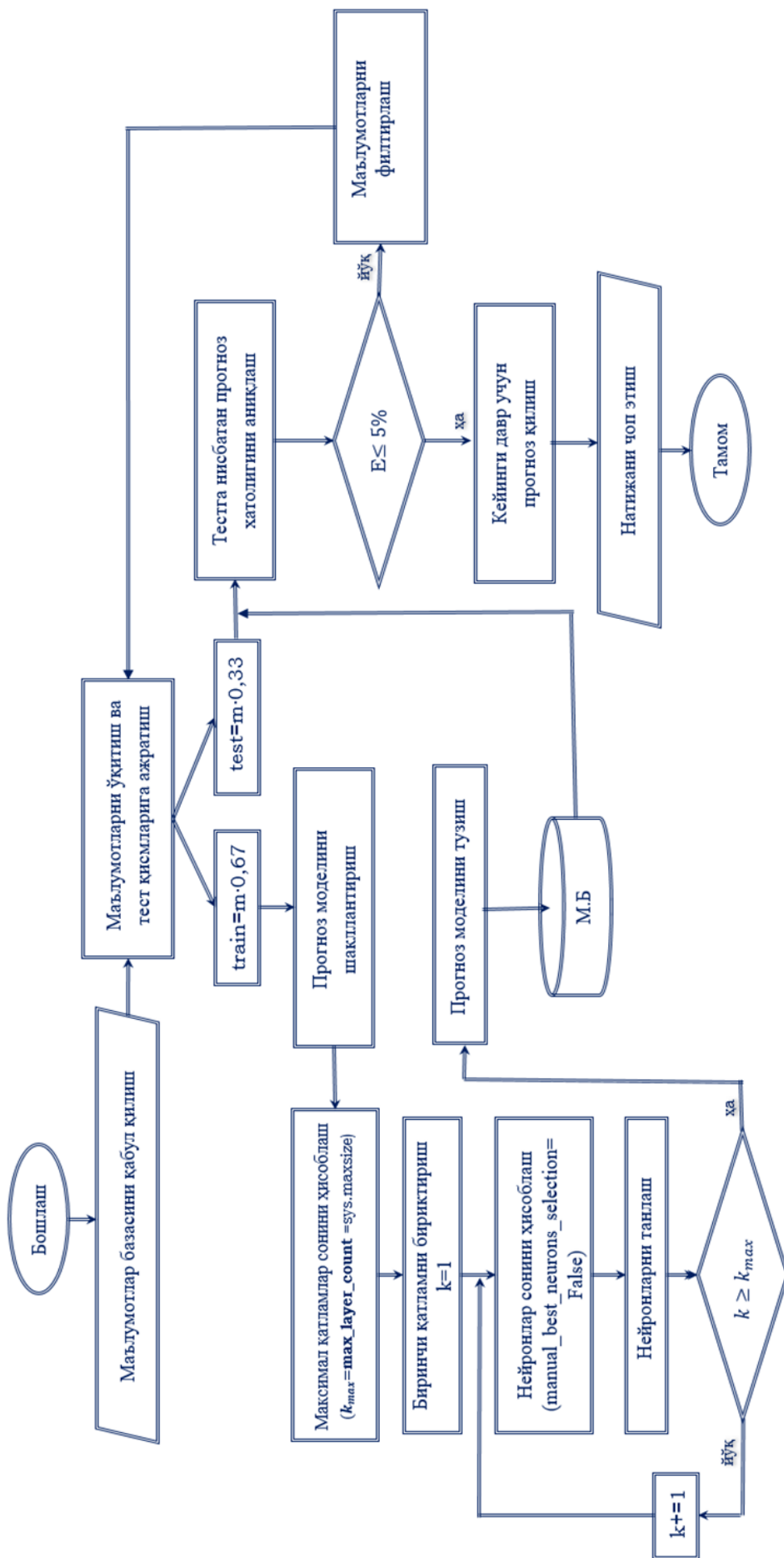
$$Y(x_1, \dots, x_n) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \quad (5)$$

Кирувчи маълумотлар сифатида тадқиқот объектининг 2018-2020 йиллардаги уч йиллик кунлик 1097 та ҳисобий-экспериментал маълумотлари олинган. Ушбу маълумотларнинг 67%и (735 та танлама) ўқитиш жараёни учун 33% (362 танлама) тест жараёни учун ажратилган.

Корхонанинг ҳақиқий истеъмол қилган электр энергияси ва АГҲОУ ёрдамида аниқланган прогноз кўрсаткичлари график кўринишида 8÷9 расмларда келтирилган.

Графиклар таҳлили шуни кўрсатадики, электр энергиясининг прогнозлаш модели ёрдамида аниқланган кўрсаткичлар ва ҳақиқий кўрсаткичлар ўртасидаги ўртача хатолик 6% ни ташкил этган.

Электр энергия истеъмолини прогнозлаш моделлари СНТ асосида ҳам ишлаб чиқилган бўлиб, прогнозлашда дастлабки маълумотлар сонини эътиборга олган ҳолда, 1097 та танланманинг 67% ўқитишга ва 33% тест жараёни учун танланган.

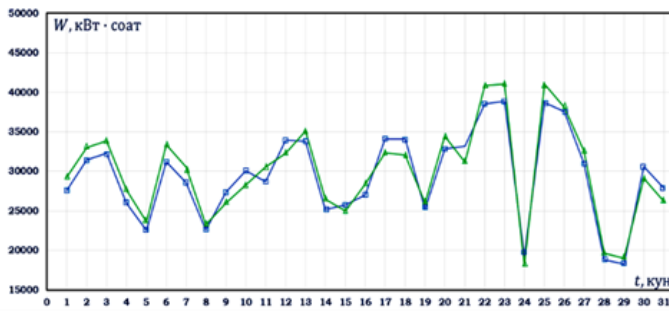


7-расм. АГҲОУ ёрдамида электр энергия истеъмолини прогнозлаш алгоритми

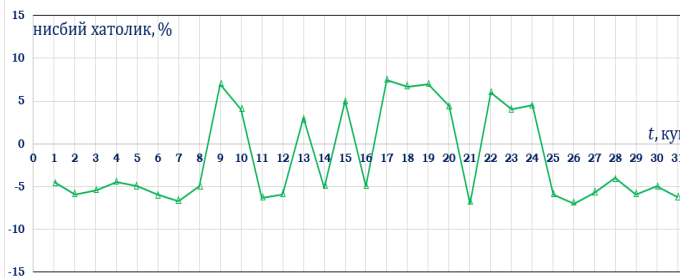
СНТ ни ўқитиш қуйидаги кетма-кетликда амалга оширилади.

Ўқитиш жараёни тавсифи:

$$N_t = \tanh(W_n[STM_{t-1}, E_t] + b_n) \quad (6)$$



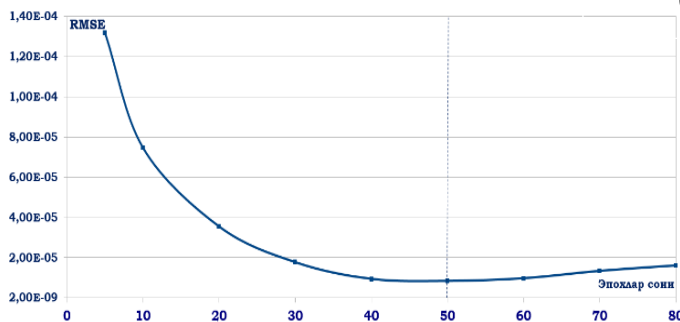
8-расм. Электр энергияси истеъмолнинг ҳақиқий ва прогноз кўрсаткичлари



9-расм Электр энергияси истеъмолнинг ҳақиқий ва прогноз кўрсаткичлари орасидаги хатолик

ошган. Шундан келиб чиқиб, яширин қатламда ўқитиш жараёнини амалга ошириш учун 50 та нейрон танланган.

11-расмда СНТни ўқитиш жараёнида RMSE нинг эпохга боғланиш графиги келтирилган бўлиб, унда цикл оператори ёрдамида моделга 0 ва 80



11-расм. СНТни ўқитиш жараёнида RMSE қийматининг ўзгариш графиги

кейинги давр учун прогноз амалга оширилади. 12-расмда СНТ асосида электр энергия истеъмолини прогнозлаш алгоритми келтирилган бўлиб, прогноз кўрсаткичларини аниқлаш ушбу кетма-кетликда амалга оширилади.

$$i_t = \sigma(W_i[STM_{t-1}, E_t] + b_i) \quad (7)$$

Саралаш жараёни тавсифи:

$$f_t = \sigma(W_f[STM_{t-1}, E_t] + b_f) \quad (8)$$

Эслаб қолиш жараёни тавсифи:

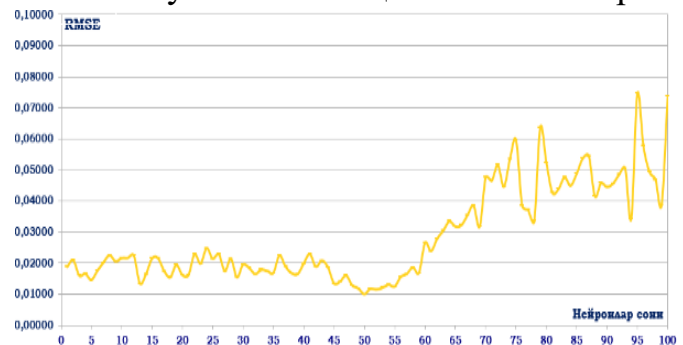
$$LTM_t = LTM_{t-1} \cdot f_t + N_t i_t \quad (9)$$

Чиқиш жараёни тавсифи.

$$U_t = \tanh(W_u LTM_{t-1} \cdot f_t + b_u) \quad (10)$$

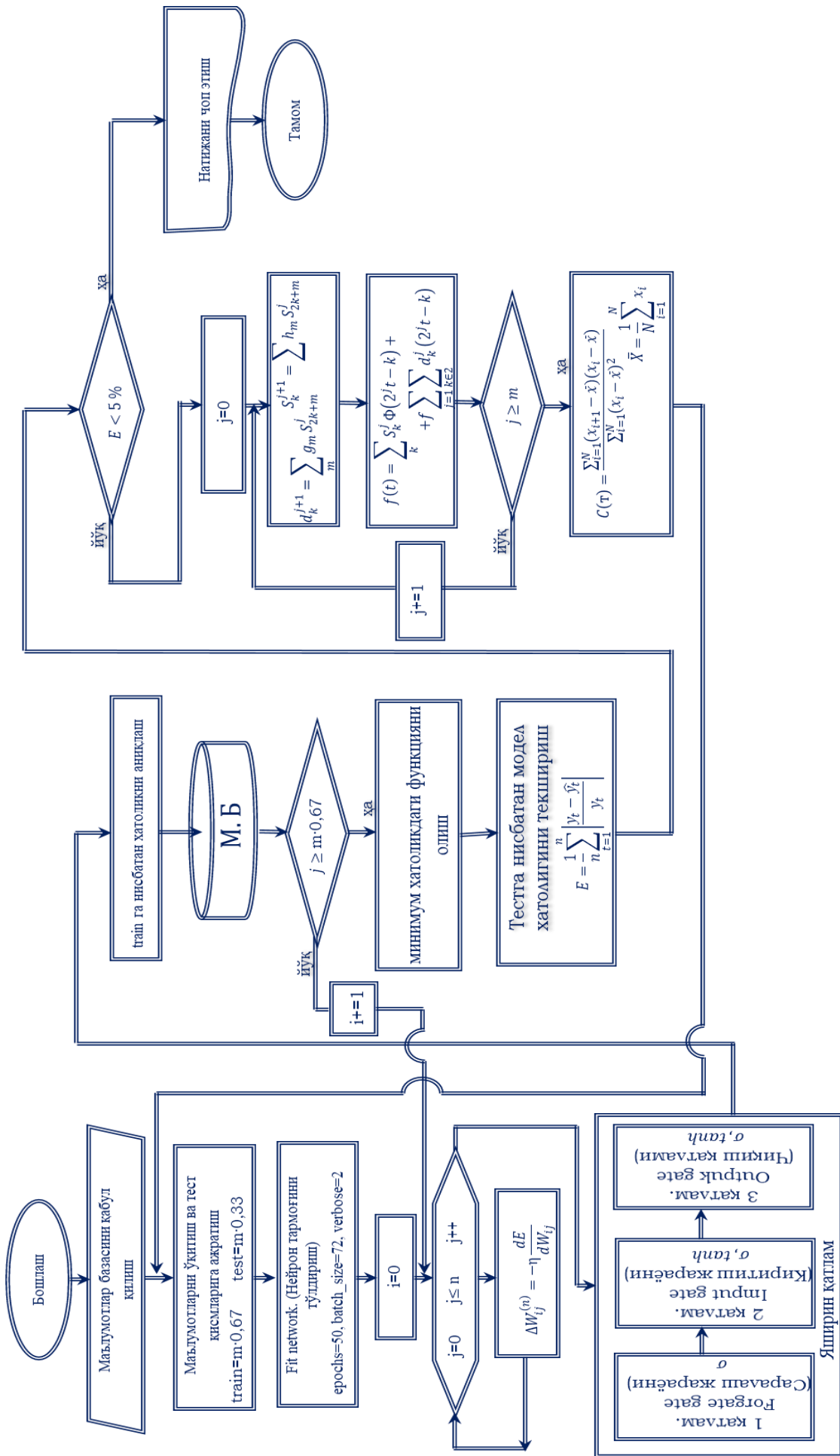
$$V_t = \sigma(W_v \cdot STM_{t-1}, E_t] + b_v) \quad (11)$$

Яширин қатламда иштирок этувчи нейронлар сонини аниқлаш мақсадида, 10-расмда RMSE нинг нейронлар сонига боғлиқ равишда ўзгариш графиги келтирилган бўлиб, нейронлар сонининг 55 гача бўлган ораликда RMSE нинг сезиларли кам бўлиб, ундан сўнг хатолик қиймати сезиларли



10-расм. RMSE нинг нейронлар сонига боғлиқ равишда ўзгариш графиги

оралиғида давр берган ҳолда, ушбу давр оралиғидаги маълумотларнинг ҳолати келтирилган. Бунда сунъий нейрон тармокни ўқитиш жараёни 50-эпохга келганда нейрон тармок тўйинади ва 50-эпох критик нукта сифатида қабул қилиниб, дастурда 50 та эпох асосида

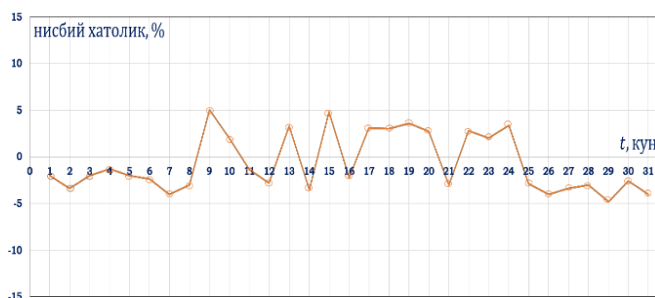


12-расм. Сунъий нейрон тармоқлар асосида электр энергия истеъмолини прогношлаш алгоритми

Корхонанинг ҳақиқий истеъмол қилган электр энергияси ва СНТ асосида аниқланган прогноз кўрсаткичлари



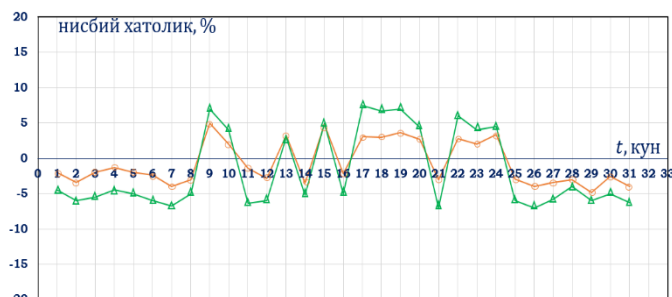
13-расм. Электр энергияси истеъмолининг ҳақиқий ва прогноз кўрсаткичлари



14-расм. Электр энергияси истеъмолининг ҳақиқий ва прогноз кўрсаткичлари орасидаги хатолик

асосидаги прогнозлаш моделларини қўллаш мақсадга мувофиқ бўлиб ҳисобланади.

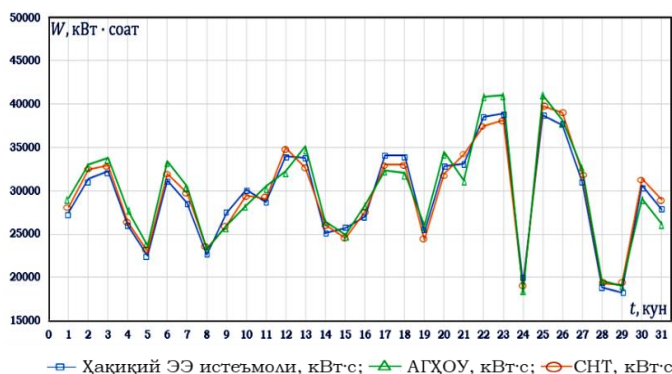
16-расмда электр энергия истеъмолининг ҳақиқий ва прогноз кўрсаткичлари орасидаги хатоликни таққослаш графиги келтирилган бўлиб, графикдан СНТ кўрсаткичлари ҳақиқий электр энергия истеъмолига яқин эканлигини



16-расм. Электр энергияси истеъмолининг ҳақиқий ва прогноз кўрсаткичлари орасидаги хатолик

натижалари 13÷14 расмлардаги графикларда келтирилган. Графиклар таҳлили шуни кўрсатадики, электр энергиясининг прогнозлаш модели ёрдамида аниқланган кўрсаткичлар ва ҳақиқий электр энергия истеъмоли кўрсаткичлари ўртасидаги ўртача хатолик 3% ни ташкил этган.

АГҲОУ ва СНТ асосида олинган моделлар таҳлили шуни кўрсатадики (15÷16 -расмлар), АГҲОУ ёрдамида аниқланган прогноз кўрсаткичларининг ўртача хатолиги 6% ни, сунъий нейрон тармоқлар асосида аниқланган прогноз кўрсаткичлар хатолиги 3% ни ташкил этади. Шундан келиб чиқиб, СНТ



15-расм. Электр энергияси истеъмолининг ҳақиқий ва прогноз кўрсаткичлари

кўриш мумкин. АГҲОУ усулининг ҳақиқий кўрсаткичдан баъзи нуқталарда кескин, баъзи нуқталарда нисбатан оғанини кўриш мумкин. Маълумки, ҳақиқий ва прогноз кўрсаткичлар орасидаги фарқ 5% гача бўлганда, ишлаб чиқилган прогноз моделлари адекват бўлиб ҳисобланади.

Юқорида келтирилган кўрсаткичлар эса,

СНТ асосидаги прогнозлаш моделининг кўрилаётган ҳолат учун етарли

аниқликни таъминлай олганлигини ва аниқлиги юқори бўлган усул эканлигини яна бир бор исботини топди. Мазкур таклиф этилаётган усул учун DGU №05345 рақамли “Автомобил ишлаб чиқарадиган корхоналарда электр энергия истеъмолини прогнозлаш учун Авто_прогноз дастури” учун гувоҳнома олинган.

Диссертациянинг «**Электр энергиясининг солиштирма сарфининг прогноз кўрсаткичини аниқлаш усулини ишлаб чиқиш ва прогнозлаш моделларини жорий этиш**» деб номланган тўртинчи бобида маҳсулот бирлигига тўғри келадиган электр энергиянинг солиштирма сарфининг прогноз кўрсаткичини аниқлаш усулини ишлаб чиқиш, прогнозлаш хатолиги юқори бўлган ҳолатда прогнозлаш хатолигини камайтириш усули ва электр энергия истеъмолини прогнозлаш моделини татбиқ этиш орқали олинадиган иқтисодий самарадорлик келтирилган.

Саноат корхоналарида электр энергия истеъмоли параметрларидан бири бу маҳсулот бирлигига тўғри келадиган электр энергиянинг солиштирма сарф кўрсаткичи бўлиб, классик усулда мазкур кўрсаткич куйидаги ифода ёрдамида аниқланади:

$$d = \frac{W}{\Pi} \quad (12)$$

(12) ифодадан электр энергиянинг солиштирма сарфини прогнозлашда солиштирма электр энергия сарфи билан ишлаб чиқарилган маҳсулот орасида куйидаги кўринишдаги боғланишлар мавжудлигини кўриш мумкин.

1) экспоненциал боғланиш:

$$W_i = f(\Pi_i) = a_0 \exp(a_1 \Pi_1 + a_2 \Pi_2 + \dots + a_p \Pi_p) \quad (13)$$

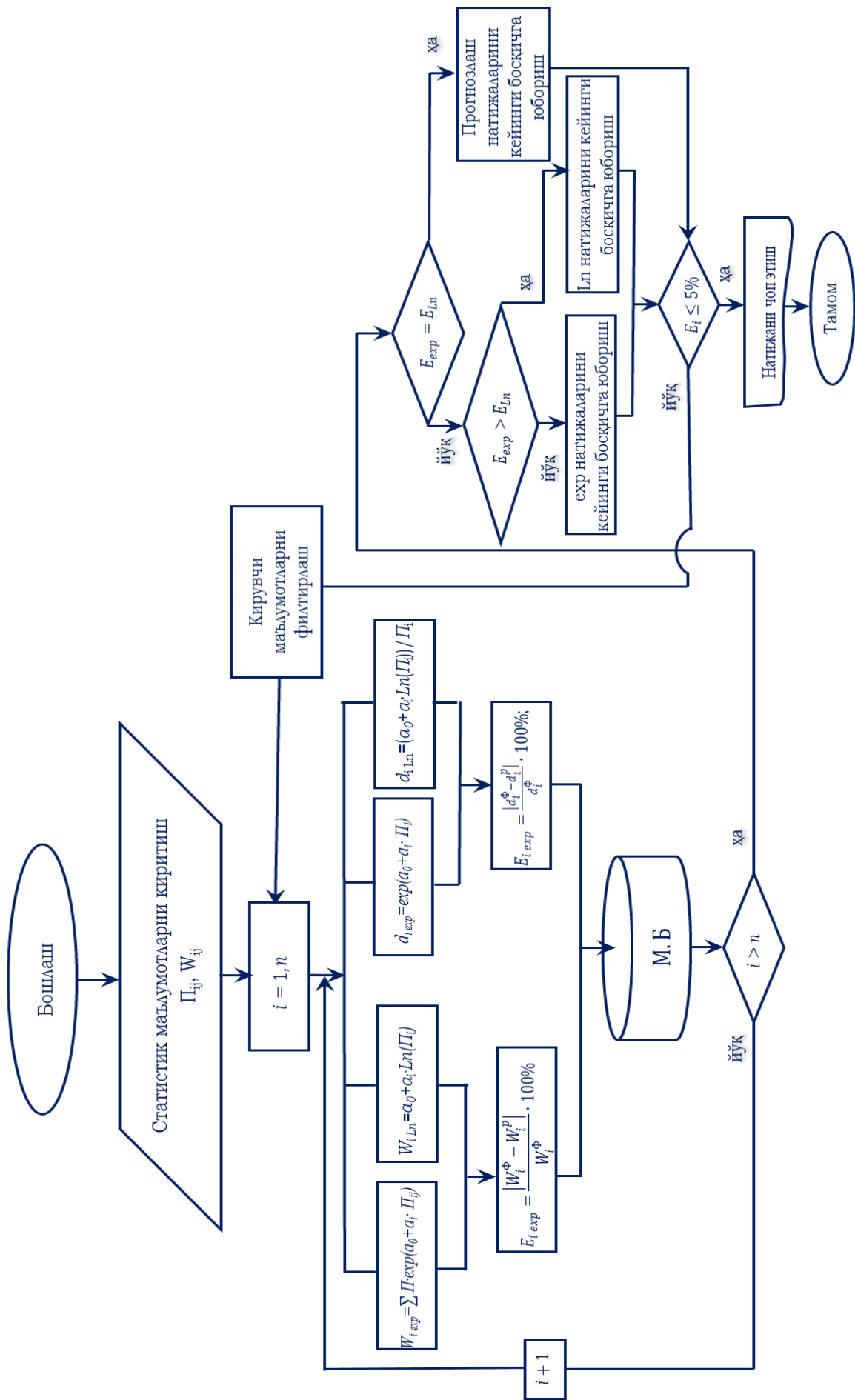
2) логарифмик боғланиш:

$$W_i = f(\Pi_i) = a_0 + a_1 \ln(\Pi_1) + a_2 \ln(\Pi_2) + \dots + a_p \ln(\Pi_p), \quad i = \overline{1, N} \quad (14)$$

17-расмда маҳсулот номенклатураси бўйича электр энергияси истеъмолининг маҳсулот бирлигига тўғри келадиган солиштирма сарфининг прогноз кўрсаткичини аниқлаш усули келтирилган бўлиб, мазкур алгоритм бўйича электр энергиянинг умумий ва солиштирма сарфини логарифмик ва экспоненциал функциялар орқали аниқлашнинг усуллари ишлаб чиқилган. 3-жадвал асосида электр энергия параметрларининг прогнозлаш кўрсаткичлари аниқланиб, 18÷25 расмларда бу кўрсаткичлар асосида курилган графиклар келтирилган.

3-жадвал.

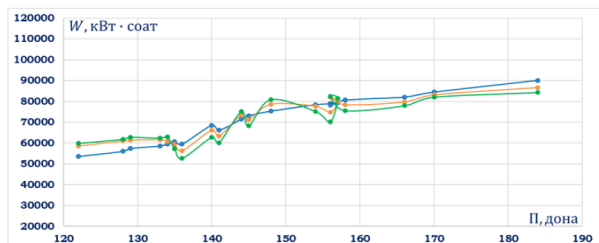
Маҳсулот номи	Экспоненциал функция ёрдамида	
	$W=f(\Pi)$	$d=f(\Pi)$
Ўридикли тягач	$W_1 = \exp(10,64405 - 0,0012425 \cdot \Pi_1)$	$d_1 = (\exp(10,64405 - 0,0012425 \cdot \Pi_1)) / \Pi_1$
Шасси	$W_2 = \exp(10,94511 - 0,0001169 \cdot \Pi_2)$	$d_2 = (\exp(10,94511 - 0,0001169 \cdot \Pi_2)) / \Pi_2$
Автобус	$W_3 = \exp(10,29329 - 0,002104 \cdot \Pi_3)$	$d_3 = (\exp(10,29329 - 0,002104 \cdot \Pi_3)) / \Pi_3$
Самосвал	$W_4 = \exp(11,09632 - 0,0001487 \cdot \Pi_4)$	$d_4 = (\exp(11,09632 - 0,0001487 \cdot \Pi_4)) / \Pi_4$



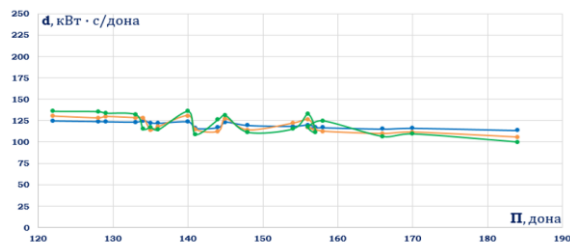
17-расм. Маҳсулот номенклатураси бўйича электр энергиянинг солиштирма сарф кўрсаткичини прогнозлаш моделини

3-жадвалнинг давоми.

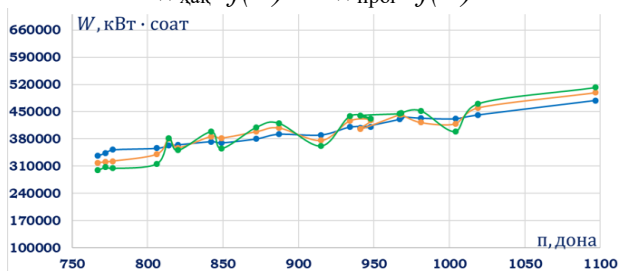
Маҳсулот номи	Логорифмик функция ёрдамида	
	$W=f(\Pi)$	$d=f(\Pi)$
Ўридикли тягач	$W_1 = -237809,6815 + 60978,502 \cdot \ln(\Pi_1)$	$d_1 = (-237809,6815 + 60978,502 \cdot \ln(\Pi_1)) / \Pi_1$
Шасси	$W_2 = -2149413,2747 + 375942,4941 \cdot \ln(\Pi_2)$	$d_2 = (-2149413,2747 + 375942,4941 \cdot \ln(\Pi_2)) / \Pi_2$
Автобус	$W_3 = -85318,2761 + 27527,5245 \cdot \ln(\Pi_3)$	$d_3 = (-85318,2761 + 27527,5245 \cdot \ln(\Pi_3)) / \Pi_3$
Самосвал	$W_4 = -1541509,3937 + 283680,4924 \cdot \ln(\Pi_4)$	$d_4 = (-1541509,3937 + 283680,4924 \cdot \ln(\Pi_4)) / \Pi_4$



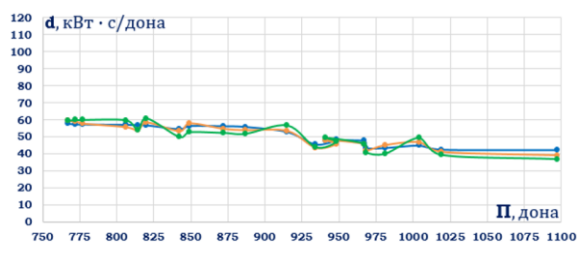
18-расм. Ўридикли тягач учун $W_{\text{ҳақ}}=f(\Pi)$ ва $W_{\text{прог}}=f(\Pi)$



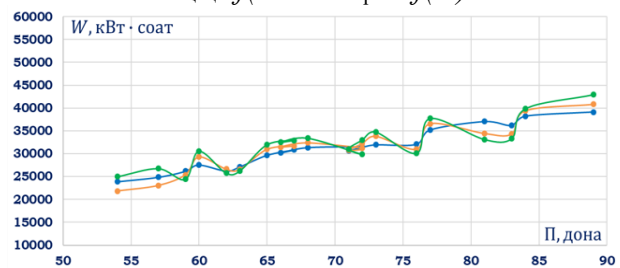
19-расм. Ўридикли тягач учун $d_{\text{ҳақ}}=f(\Pi)$ ва $d_{\text{прог}}=f(\Pi)$



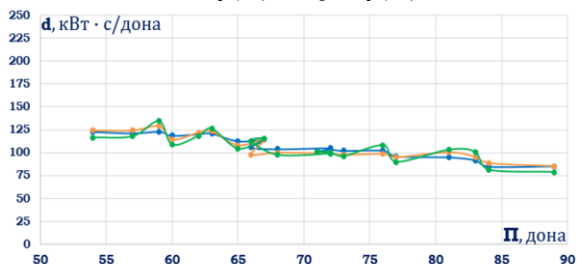
20-расм. Шасси учун $W_{\text{ҳақ}}=f(\Pi)$ ва $W_{\text{прог}}=f(\Pi)$



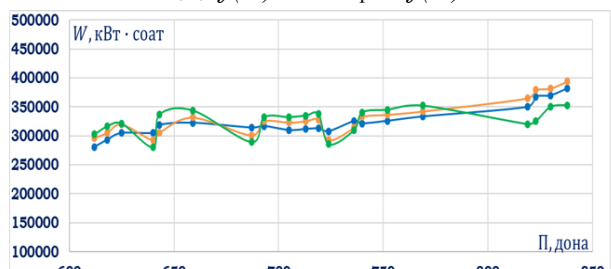
21-расм. Шасси учун $d_{\text{ҳақ}}=f(\Pi)$, $d_{\text{прог}}=f(\Pi)$



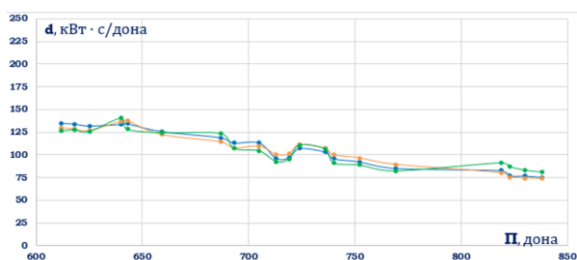
22-расм. Автобус учун $W_{\text{ҳақ}}=f(\Pi)$ ва $W_{\text{прог}}=f(\Pi)$



23-расм. Автобус учун $d_{\text{ҳақ}}=f(\Pi)$ ва $d_{\text{прог}}=f(\Pi)$



24-расм. Самосвал учун $W_{\text{ҳақ}}=f(\Pi)$ ва $W_{\text{прог}}=f(\Pi)$



25-расм. Самосвал учун $d_{\text{ҳақ}}=f(\Pi)$ ва $d_{\text{прог}}=f(\Pi)$

ХУЛОСА

“Электр энергияси истеъмоли параметрларини прогнозлашнинг модел ва алгоритмлари (“Uz Truck & Bus Motors” ҚҚ мисолида)” мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Саноат корхоналарида электр энергиясини прогнозлаш усуллари таҳлил қилиниб, уларнинг мақбуллари танлаш мезонлари ҳамда тадқиқот объектининг электр энергия истеъмоли ва технологик жараёни тадқиқ этилди. Электр энергияси истеъмоли параметрларининг ўзгариш қонуниятлари $W=f(I)$ ва $d=f(I)$ энергетик характеристикаларининг корреляцион боғланишлари асосида аниқланди. Натижада корреляция коэффициентларининг $0,89 \div 0,92$ оралиқдаги қийматларида ишлаб чиқарилган маҳсулот ва электр энергияси параметрлари ўртасидаги боғланишнинг ўзгариш қонуниятини аниқлаш имкони яратилган.

2. Электр энергияси истеъмолини прогнозлаш модели ва алгоритмлари сунъий интеллект усуллари асосида ишлаб чиқилиб, сунъий нейрон тармоқлар асосида ишлаб чиқилган прогнозлаш модели энг кам хатоликка эга усул сифатида тақлиф этилган. Натижада корхонада электр энергияси истеъмолининг прогнозлашдаги хатоликни 3% гача камайтириш имкони яратилган.

3. Машинасозлик корхонасининг технологик линияларида олиб борилган экспериментал тадқиқотлар асосида маҳсулот бирлигига сарф бўладиган электр энергиясининг солиштирма сарфининг прогноз кўрсаткичларини аниқлаш усули ишлаб чиқарилаётган маҳсулот номенклатураси кесимида такомиллаштирилди. Натижада маҳсулот ишлаб чиқаришда электр энергияси сарфининг мақсадли истеъмолини баҳолаш имкони яратилган.

4. Электр энергияси истеъмоли параметрларини прогнозлаш усуллари ёрдамида ишлаб чиқилган прогнозлаш моделларининг хатолигини минималлаш усули ишлаб чиқилди. Натижада, прогнозлаш модели хатолигининг рухсат этилган қиймати таъминланмаган ҳолларда, дастлабки маълумотларнинг сони ва таркибини ростлаш асосида прогнозлаш модели хатолигини камайтириш имкони яратилган.

5. Тадқиқот натижалари “Uz Truck & Bus Motors” ҚҚ корхонасига қабул қилинган бўлиб, илмий-тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий этилишидан кутилаётган иқтисодий самарадорлик йилига 103 334 000 (бир юз уч миллион уч юз ўттиз тўрт минг сўм)ни ташкил этган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ
ДОКТОРА НАУК DSc.03/10.12.2019.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

НИЁЗОВ НЎМОН НИЗОМИДДИНОВИЧ

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ
(на примере «Uz Truck & Bus Motors»)**

05.05.01 – Энергетические системы и комплексы

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2022

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2022.1.PhD/T1829.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tdtu.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Рахмонов Икромжон Усмонович
доктор философии по техническим наукам
(PhD), доцент

Официальные оппоненты:

Худаяров Музаффар Бурханович
доктор технических наук, старший научный
сотрудник

Реймов Камал Мамбеткаримович
доктор философии по техническим наукам
(PhD), доцент

Ведущая организация:

**Навоийский государственный горный
институт**

Защита диссертации состоится « 2 » 04 2022 г. в 11⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/10.12.2019.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете. Адрес: 100095, г Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер - 248). Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 207-14-70.

Автореферат диссертации разослан « 18 » 03 2022 года.

(протокол рассылки № « 2 » от « 16 » 03 2022 года).



К.Р. Аллаев
председатель научного совета
по присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор, академик

О. Х. Ишнароров
ученый секретарь научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор.

Т.Ш. Гайибов
председатель научного семинара при
научном совете по присуждению
ученых степеней, доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое внимание уделяется уточнению взаимосвязей между выпуском продукции и потреблением электроэнергии промышленных предприятий, а также снижению доли затрат на энергию в себестоимости продукции на основе высокоточного прогнозирования параметров потребления электроэнергии. В настоящее время в развитых странах «... продукция, выпускаемая машиностроительными предприятиями, составляет 35% промышленного сектора, включающего более 70 отраслей и 300 видов производственных процессов»¹. В связи с этим особое внимание уделяется совершенствованию методов прогнозирования параметров потребления электроэнергии машиностроительными предприятиями, а также повышению эффективности потребления электроэнергии на основе соответствующих моделей и алгоритмов.

В мире проводятся научные исследования по разработкам моделей и алгоритмов прогнозирования с использованием методов искусственного интеллекта в целях повышения конкурентоспособности продукции, снижения энергетических затрат и её себестоимости, в том числе за счет высокоточного прогнозирования электропотребления, особенно на энергоёмких машиностроительных предприятиях. В этом направлении необходимо проводить ряд исследований, в том числе по определению закономерностей изменения параметров электроэнергии на основе корреляционных зависимостей энергетических характеристик, совершенствовать методы прогнозирования удельного расхода энергии по номенклатуре продукции, которые считаются приоритетными. При этом одной из актуальных задач является разработка моделей и алгоритмов прогнозирования, основанных на методах искусственного интеллекта для определения основных факторов, влияющих на потребление электроэнергии с учетом особенностей технологического процесса.

В республике проводятся масштабные мероприятия по совершенствованию и внедрению методов и инновационных разработок по созданию новых технических и технологических решений, по повышению эффективности использования энергоресурсов в целях снижения себестоимости выпускаемой продукции. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи, в том числе «...сокращение энергоёмкости и ресурсоёмкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, расширение использования возобновляемых источников энергии...»². При выполнении этих задач особое значение придается необходимости проведения научно-исследовательских работ по разработке методов, моделей и алгоритмов

¹https://mmi.fem.sumdu.edu.ua/sites/default/files/mmi2015_3_84_104.pdf

² Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 "О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан" от 7 февраля 2017 г. <https://lex.uz/docs/3107042>

определения прогнозных параметров электропотребления машиностроительных предприятий с высокой точностью и простым расчетным процессом, учитывающим номенклатуру выпускаемой предприятием продукции и специфику технологического процесса.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022 — 2026 годы», постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП 3929 от 4 сентября 2018 года «О мерах по совершенствованию системы управления отраслью сельскохозяйственного машиностроения», № ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» и ПП-4779 от 10 июля 2020 года «О дополнительных мерах по сокращению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной области.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением науки и технологий Республики Узбекистан II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы. Научные исследования, направленные на исследование закономерностей изменения параметров электропотребления на предприятиях машиностроения, разработку методов, моделей и алгоритмов прогнозирования электропотребления, проводятся на основе многофакторного анализа в целях повышения эффективности использования электроэнергии. Они проводятся во многих ведущих научно-исследовательских центрах и высших образовательных учреждениях мира, таких как: Калифорнийский технологический институт (США), Мичиганский университет (США), Чжэцзянский университет (Китай), Университет Ватерлоо (Канада), Университет Цинхуа (Китай), Дрезденский технологический университет (Германия), Токийский технологический институт (Япония), Университет Беркли (США), Малайский университет (Малайзия), Миланский политехнический университет (Италия), Национальный исследовательский университет (МЭИ) (Россия), Гонконгский политехнический университет (Китай), МГТУ им. Н.Э. Баумана (Россия), Ташкентский государственный технический университет (Узбекистан), Институт проблем энергетики (Узбекистан) и др.

При решении задач, разработке и совершенствовании существующих методов и моделей определения прогнозных показателей потребления электроэнергии на промышленных предприятиях, большой вклад внесли ряд известных зарубежных учёных, такие как: D.V.Venn, K.D.Lyuis, S. Makridakis, R.E.Kalman, C.E.Shannon, И.В.Гофман, В.И.Вейц, А.А.Тайц,

Б.И.Кудрин, В.К.Олейников, Г.В.Никифоров, Б.П.Белых, Б.И.Заславец, С.С.Новиков, Е.Ю.Сизганова, Л.С.Родина, И.В.Воронов, К.Л.Соломохо, И.М.Кирпичникова, Л.А.Саплин, В.В. Иванов, А.А.Филимонова и другие.

При решении научных задач по разработке математических моделей и алгоритмов оперативного планирования и прогнозирования потребления электроэнергии в энергосистемах и промышленных предприятиях проведены многочисленные исследования отечественными учеными, такими как Х.Ф. Фазылов, Р.А. Захидов, Дж.А. Абдуллаев, Т.Х. Насиров, К.Р.Аллаев, А.Я.Дзевенский, Ф.А.Хошимов, Х.М.Муратов, О.Х.Ишназаров, М.Б.Худаяров, О.З.Тоиров, А.И.Каршибаев, М.Х.Джалилов, И.У.Рахмонов и другими.

Несмотря на значительные успехи, научные проблемы, связанные с разработкой моделей и алгоритмов прогнозирования с учетом факторов, влияющих на потребление электроэнергии, обусловленных характером технологического процесса машиностроительных предприятий, изучены недостаточно. В данной диссертации предложены методы определения закономерностей изменения параметров потребления электроэнергии, а также модели и алгоритмы прогнозирования её потребления, на основе методов группового учета аргументов и искусственных нейронных сетей с учетом технологических, производственных и метеорологических факторов. По результатам сопоставления разработанных методов предложен алгоритм с высокой точностью прогнозирования.

Связь темы диссертации с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом НИР Ташкентского государственного технического университета, в рамках проектов 11-2020 «Проведение энергетических обследований (энергоаудитов) на СП ООО «Uz Truck & Bus Motors» (2020-2021), инновационного проекта И-ОТ-2021-23 «Автоматизированный программный продукт для системы мониторинга энергопотребления промышленных предприятий» (2021-2022) и фундаментального проекта Ф-ОТ-2021-236 «Исследование закономерностей комплексного управления электропотреблением промышленных предприятий с непрерывным характером производства» (2021-2026 гг.).

Целью исследования является разработка моделей и алгоритмов прогнозирования параметров электропотребления машиностроительных предприятий.

Задачи исследования:

анализ текущего состояния прогнозирования электропотребления на промышленных предприятиях, а также технологических процессов и электропотребления машиностроительных предприятий;

определение закономерностей изменения параметров электропотребления;

разработка модели и алгоритма прогнозирования потребления

электроэнергии, а также выбор наилучшего метода прогнозирования электропотребления.

разработка методики определения удельных показателей расхода электроэнергии на единицу продукции по номенклатуре выпускаемой продукции.

Объектом исследования являются машиностроительные предприятия.

Предметом исследования являются процессы потребления электроэнергии машиностроительного предприятия.

Методы исследования. В процессе исследования были применены методы: корреляционного и регрессионного анализа, математической статистики, метод наименьших квадратов; при решении задач прогнозирования использован метод функционального анализа, метод группового учета аргументов, искусственные нейронные сети.

Научная новизна исследования:

усовершенствована закономерность изменения параметров электропотребления на основе объема продукции общего и удельного расхода электроэнергии;

усовершенствованы модель и алгоритм прогнозирования потребления электроэнергии на основе искусственных нейронных сетей с учетом технологических, производственных и метеорологических факторов;

разработан метод определения удельных расходов электроэнергии по номенклатуре продукции;

разработан метод снижения погрешности прогнозирования электропотребления на основе корректировок количества и состава первичных данных.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

по результатам экспериментальных исследований, проведенных на объекте исследования, разработан метод определения прогнозных значений удельного расхода электроэнергии и параметров электропотребления машиностроительных предприятий;

разработано программное обеспечение определения прогнозных значений потребления электроэнергии на единицу удельного продукта;

разработано программное обеспечение с целью снижения погрешности прогнозного показателя параметров электропотребления, позволяющее корректировать состав и количество первичных данных.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается тем, что полученные результаты внедрены в производство, а также подтверждаются идентичностью теоретических и расчетно-экспериментальных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в изучении закономерностей изменения параметров потребления электроэнергии в зависимости от объема и номенклатуры готовой продукции, а также анализе, разработке, обосновании и внедрении разработанных моделей и алгоритмов прогнозирования электропотребления, а также разработке

метода определения прогнозных значений удельного расхода электроэнергии.

Практическая значимость результатов исследования связана с повышением энергоэффективности от внедрения предложенных методов и алгоритмов прогнозирования параметров потребления электроэнергии в СП «Uz Truck & Bus Motors», а также с уменьшением штрафов на заявляемую мощность в результате высокоточного прогнозирования.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по совершенствованию методов и алгоритмов прогнозирования параметров электропотребления машиностроительных предприятий разработаны:

методика определения прогнозного показателя удельного расхода электроэнергии на единицу продукции внедрена в СП ООО «Uz Truck & Bus Motors» (справка АО «УзАвто» от 29 июня 2021 года № 07/05-25-1137). В результате появилась возможность упростить и повысить точность методики расчета удельных показателей электропотребления;

математическая модель и алгоритм снижения погрешности показателя прогнозирования потребления электроэнергии внедрены на СП ООО «Uz Truck & Bus Motors» (справка АО «УзАвто» от 29 июня 2021 года № 07/05-25-1137). В результате обеспечено снижение ошибки прогнозирования до 3%;

модель и алгоритм прогнозирования потребления электроэнергии на основе метода искусственных нейронных сетей внедрены в СП ООО «Uz Truck & Bus Motors» (справка АО «УзАвто» от 29 июня 2021 года № 07/05-25-1137). В результате, за счет высокоточного прогнозирования энергопотребления предприятия, создана возможность достижения экономической эффективности, в том числе за счет повышения точности заявок на поставки мощности и электроэнергии в размере 103 334 000 (Сто три миллиона триста тридцать четыре тысячи) сум в год.

Апробация результатов исследований. Результаты данного исследования прошли апробацию на 3 международных и 2 республиканских научно-технических и научно-практических конференциях, а также семинарах кафедры «Электроснабжение» ТашГТУ.

Опубликованность результатов исследований. По теме диссертации опубликована 21 научная работа, из них в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций доктора философии (PhD) – 12, в том числе 8 – в республиканских и 4 – в зарубежных журналах; 4 – статьи на базе данных Scopus, имеются 4 свидетельства на программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 119 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В **введении** обоснованы актуальность и необходимость научных исследований, цели и задачи, охарактеризованы объект и предмет исследования, показано соответствие развития науки и технологий приоритетным направлениям, описаны научная новизна и практические результаты, раскрыто научное и практическое значение работы, приведены сведения по внедрению результатов исследований в практику, по опубликованным трудам и информация о структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Современное состояние потребления электроэнергии машиностроительными предприятиями и его прогнозирование**» проанализированы существующие методы прогнозирования потребления электроэнергии на промышленных предприятиях. Изучены технологический процесс и потребление электроэнергии машиностроительного предприятия, а также исследованы закономерности изменения параметров электропотребления СП ООО «Uz Truck & Bus Motors».

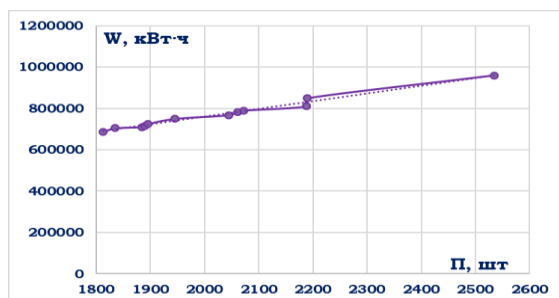


Рис. 1. Энергетическая характеристика $W=f(П)$ объекта исследования (2018 г.)

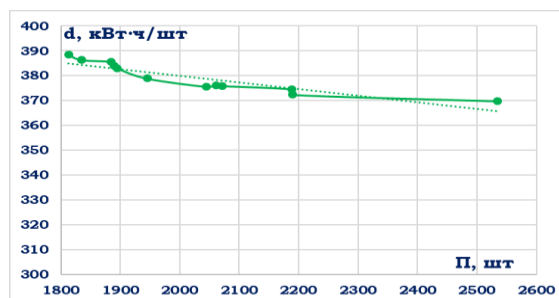


Рис. 2. Энергетическая характеристика $d=f(П)$ объекта исследования (2018 г.)

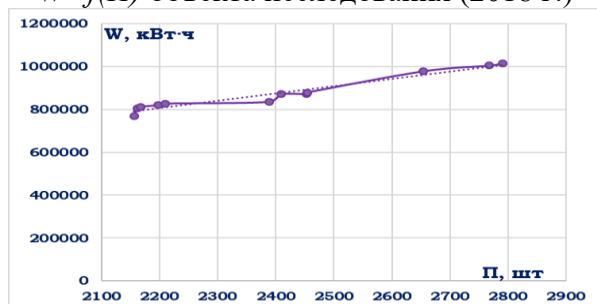


Рис. 3. Энергетическая характеристика $W=f(П)$ объекта исследования (2019 г.)

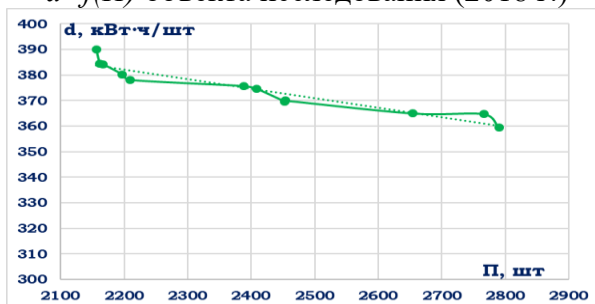


Рис. 4. Энергетическая характеристика $d=f(П)$ объекта исследования (2019 г.)

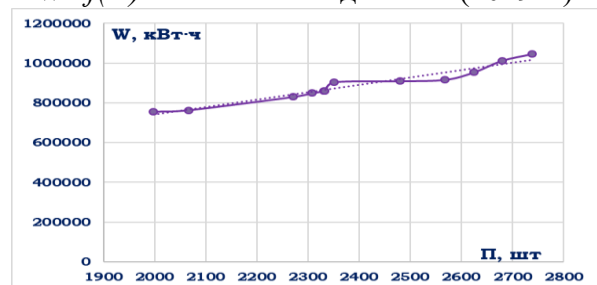


Рис. 5. Энергетическая характеристика $W=f(П)$ объекта исследования (2020 г.)

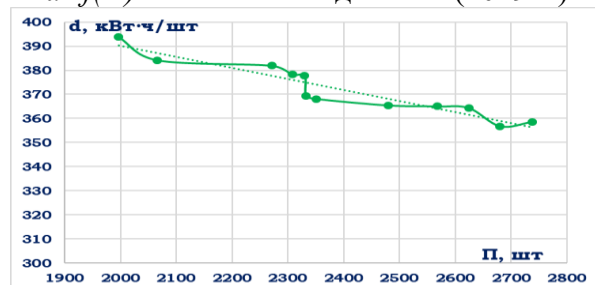


Рис. 6. Энергетическая характеристика $d=f(П)$ объекта исследования (2020 г.)

Закономерности изменения энергетических параметров на 2018-2020 годы исследованы на основе анализа энергетических характеристик

электропотребления и удельного расхода: $W=f(\Pi)$, $d=f(\Pi)$. Здесь W – электропотребление; Π - объём выпускаемой продукции; d - удельное электропотребление. На основе предоставленных предприятием первичных данных построены соответствующие энергетические характеристики (рис. 1÷6.).

Анализ энергетических характеристик $W=f(\Pi)$ и $d=f(\Pi)$, представленных

Таблица 1.

Год	$W=f(\Pi)$	r
2018	$W = 373,31 \cdot \Pi + 13275$	$r = 0,9132$
2019	$W = 339,53 \cdot \Pi + 58248$	$r = 0,9220$
2020	$W = 371,92 \cdot \Pi - 2936,4$	$r = 0,8871$
Год	$d=f(\Pi)$	r
2018	$d = -0,0268 \cdot \Pi + 433,52$	$r = 0,9107$
2019	$d = -0,0366 \cdot \Pi + 451,86$	$r = 0,8994$
2020	$d = -0,0459 \cdot \Pi + 481,84$	$r = 0,9141$

на рис. 1÷6, показывает, что значения потребления электроэнергии и удельное электропотребление на единицу продукции в 2018-2020 годы были пропорциональны соответствующим показателям произведенной продукции. Это говорит о том, что между этими параметрами существует тесная связь, которая выявлена на основе

результатов расчетов на математических моделях: коэффициенты корреляции представлены в табл. 1.

Вышеуказанное показывает целесообразность анализа и необходимость разработки моделей прогнозирования суммарного и удельного потребления электроэнергии с учетом факторов, влияющих на потребление электроэнергии. В основе – первичные данные, представляемые предприятием.

Вторая глава диссертации «**Требования к моделям прогнозирования и факторы, влияющие на потребление электроэнергии**» посвящена требованиям к прогнозированию потребления электроэнергии, основным этапам разработки моделей прогнозирования и определению основных факторов, влияющих на потребление электроэнергии.

В рамках диссертационной работы, при разработке моделей прогнозирования показателей потребления электроэнергии, одной из задач является определение факторов, влияющих на потребление электроэнергии, что, в свою очередь, служит повышению точности модели прогнозирования. Исходя из этого, влияние факторов на потребление электроэнергии объекта исследования первоначально определялось на основе метода экспертных оценок.

Таблица 2.

Факторы	W	T	Π	$Q_{\text{заг}}$	$K_{\text{раб}}$	$K_{\text{прод}}$	$K_{\text{отд}}$	ΔW
W	1							
T	0,721	1						
Π	0,8714	-0,634	1					
$Q_{\text{заг}}$	0,79	0,011	0,78	1				
$K_{\text{раб}}$	0,496	0,48	0,51	0,424	1			
$K_{\text{прод}}$	0,42	0,621	-0,07	-0,376	0,0192	1		
$K_{\text{отд}}$	0,3685	0,43	0,03	-0,05	-0,38	0,051	1	
ΔW	0,81	0,46	0,64	0,683	0,044	0,142	0,784	1

В целях научного обоснования результатов, определенных на основе метода экспертных оценок, определение степени влияния каждого фактора на потребление электрической энергии проводилось методом регрессионно-корреляционного анализа.

Факторы, влияющие на потребление электроэнергии, у которых коэффициенты корреляции 0,6 и выше (табл. 2: температура среды- T , объём продукции- Π , потери электроэнергии в цехах- ΔW , загрузка

устройств- $Q_{заг}$), включены в модель прогнозирования.

Третья глава диссертации «**Математические модели прогнозирования электропотребления машиностроительных предприятий**» посвящена разработке моделей и алгоритмов прогнозирования электропотребления на основе методов искусственного интеллекта, группового учета аргументов (МГУА) и искусственных нейронных сетей (ИНС).

При прогнозировании потребления электроэнергии использованы методы, основанные на искусственном интеллекте; прогнозирование потребления электроэнергии осуществляется на МГУА с применением многослойной нейронной сети второй степени на основе SOMVI структуры. Алгоритм прогнозирования потребления электроэнергии с использованием МГУА представлен на рис. 7.

Основные выражения при формировании алгоритмов МГУА:

различные многочлены вида:
$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x^i; \quad (1)$$

гармонический или логистический:
$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n (a_i / (1 + \exp(-x_i))); \quad (2)$$

экспоненциальный:
$$y = \sum_{i=0}^n a_i e^{\beta^i}. \quad (3)$$

Алгоритмы МГУА характеризуются индуктивной процедурой, которая позволяет сортировать сложные полиномиальные модели и выбрать наилучшее решение с использованием внешнего критерия:

$$Y(x_1, \dots, x_n) = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i f_i. \quad (4)$$

В МГУА в качестве основной функции принимается однородный комплекс полинома Колмогорова-Габора:

$$Y(x_1, \dots, x_n) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots. \quad (5)$$

В качестве входных данных приняты 1097 значений трехлетнего ежедневного учета: экспериментальные данные объекта исследования в период 2018-2020 годов. Из них 67% данных (735 выборки) были выделены для процесса обучения, 33% (362 выборки) - для процесса тестирования. Прогнозные показатели предприятия, определенные с использованием фактически потребленной электроэнергии на основе МГУА, представлены в графическом виде на рис. 8÷9. Анализ графиков показывает, что средняя погрешность между показателями, выявленными с использованием модели прогнозирования электропотребления и показателями фактического потребления электроэнергии, составляет 6%.

Модели прогнозирования потребления электроэнергии также разработаны на основе ИНС, при этом прогноз изначально был ориентирован на количество входных данных, при этом 67% из 1097 выборок (735 выборки) отобраны для обучения и 33% (362 выборки) для процесса тестирования.

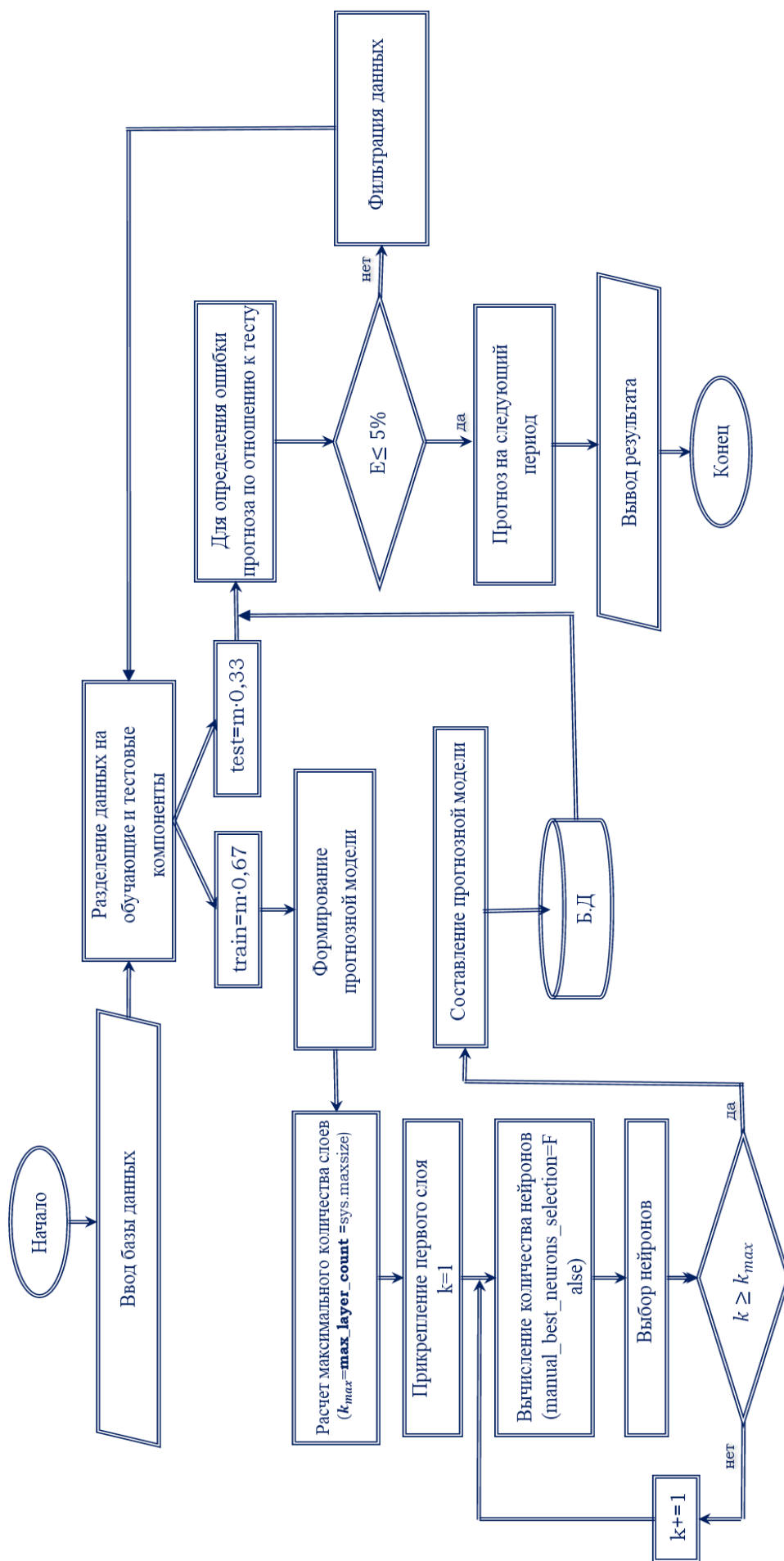


Рис. 7. Алгоритм прогнозирования потребления электроэнергии с использованием ИГУА

Обучение СНТ проводится в нижеследующей последовательности.

Процесс обучения:

$$N_t = \tanh(W_n[STM_{t-1}, E_t] + b_n): \quad (6) \quad i_t = \sigma(W_i[STM_{t-1}, E_t] + b_i). \quad (7)$$

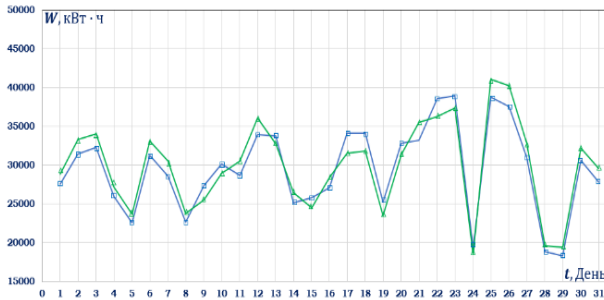


Рис.8. Фактические и прогнозные показатели электропотребления

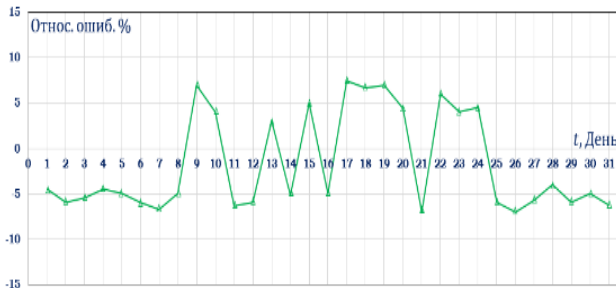


Рис.9. Погрешность между фактическими и прогнозными показателями электропотребления

Обучающая матрица N_t умножается на коэффициент игнорирования для получения результата обучающего слоя.

Процесс сортировки:
 $f_t = \sigma(W_f[STM_{t-1}, E_t] + b_f). \quad (8)$

Процесс запоминания:
 $LTM_t = LTM_{t-1} \cdot f_t + N_t i_t. \quad (9)$

Описание процесса вывода:
 $U_t = \tanh(W_u LTM_{t-1} \cdot f_t + b_u): \quad (10)$

$$V_t = \sigma([W_v \cdot STM_{t-1}, E_t] + b_v). \quad (11)$$

На рис. 10 представлен график изменений RMSE по отношению к числу нейронов. В диапазоне до 55 число нейронов RMSE значительно снижается, после чего значение ошибки значительно увеличивается. Исходя из этого, считается целесообразным выбрать 50

нейронов для осуществления процесса обучения в скрытом слое.

На рис. 11 показан график зависимости RMSE в эпоху во время обучения ИНС, который показывает состояние данных в этот период, при этом модель преобразуется от 0 до 80 с использованием оператора цикла. Процесс обучения искусственной нейронной сети доходит до 50-ой эпохи и нейронная сеть

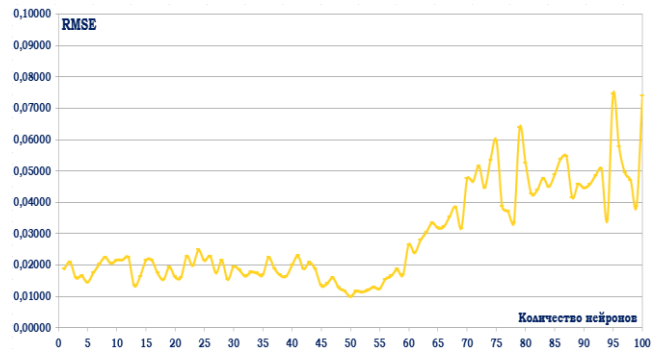


Рис.10. Диаграмма изменений RMSE в зависимости от количества нейронов

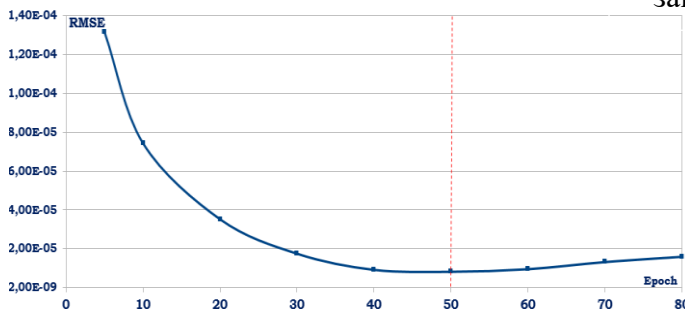


Рис. 11. График изменения значения RMSE в процессе обучения ИНС

насыщается, при этом 50-ая эпоха воспринимается как критическая точка, и программа на основе 50 эпох выдает прогноз на следующий период. На рис. 12 представлен алгоритм прогнозирования потребления электроэнергии на базе ИНС; определение

прогнозных показателей осуществляется в той же последовательности.

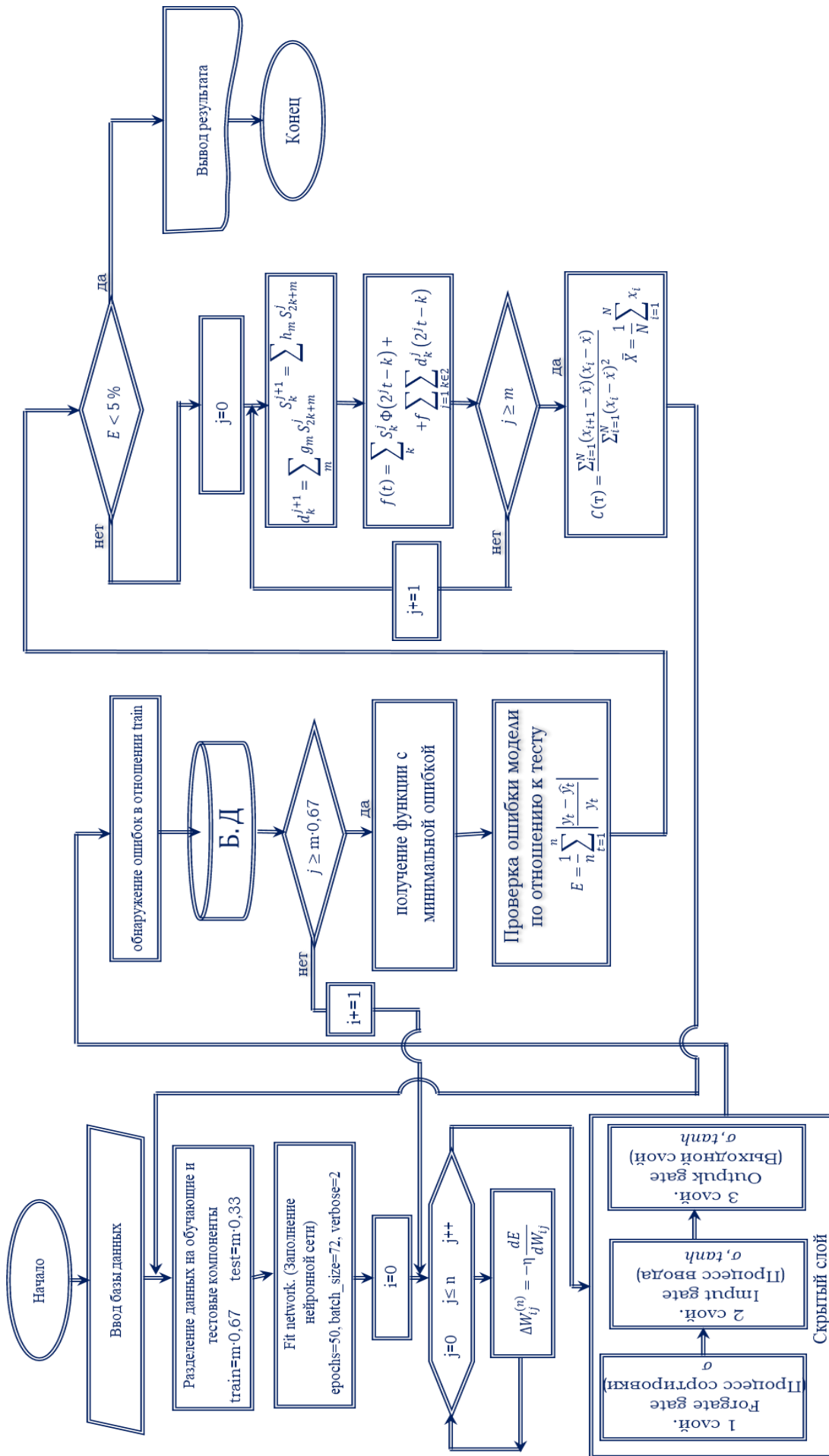


Рис. 12. Алгоритм прогнозирования потребления электроэнергии на основе искусственных нейронных сетей

Результаты прогнозных показателей, определенных на основе

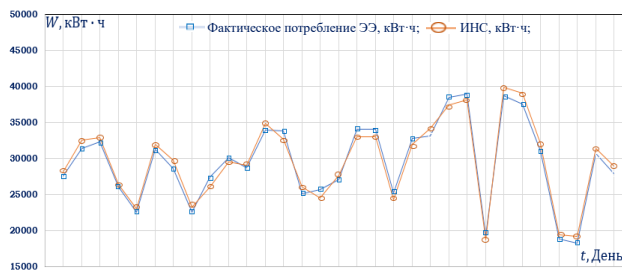


Рис.13. Фактические и прогнозные показатели электропотребления

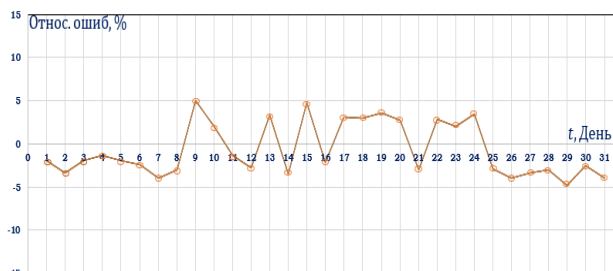


Рис.14. Погрешность между фактическими и прогнозными показателями электропотребления электроэнергии

основе искусственных нейронных сетей, составляет 3%. Исходя из этого, целесообразным является применение моделей прогнозирования на основе ИНС.

На рис.16 представлен график, сравнивающий погрешность между фактическими и прогнозными показателями потребления электроэнергии, и из графика следует, что показатели ИНС близки к фактическому потреблению электроэнергии. При этом метод МГУА даёт результаты, которые в некоторых точках сильно, а в некоторых точках относительно мало отличаются от реального показателя. Известно, что когда разница между фактическими и прогнозными показателями составляет до 5%,

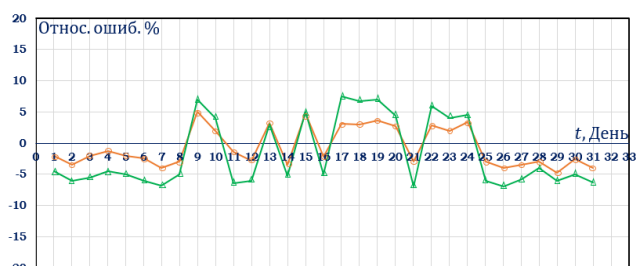


Рис.16. Погрешность между фактическими и прогнозными показателями потребления электроэнергии по методу ИНС

реального потребления электроэнергии предприятия с использованием ИНС, представлены на графиках рис. 13÷14. Анализ графиков показывает, что средняя погрешность между показателями, выявленными с использованием модели прогнозирования и показателями фактического электропотребления, составляет 3%.

Анализ моделей на основе МГУА и ИНС показывает (рис.15), что средняя погрешность прогнозных показателей, выявленных с помощью МГУА, составляет 6%, погрешность прогнозных показателей, выявленных на

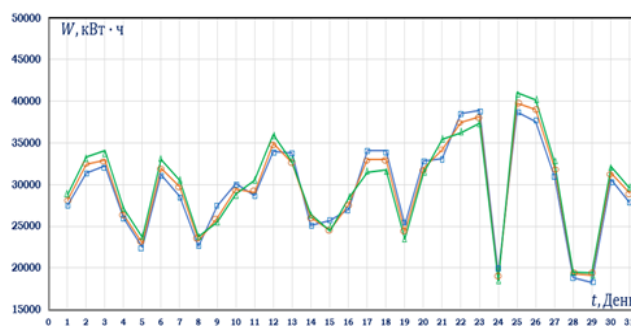


Рис.15. Фактические и прогнозные показатели потребления электроэнергии

разработанные прогнозные модели считаются адекватными. Вышеуказанные показатели еще раз подтверждают, что модель прогнозирования на основе ИНС способна обеспечить достаточную точность прогнозирования для рассматриваемой ситуации и является методом высокой точности. На предложенный

способ получено свидетельство на ЭВМ "Программа Auto_prognoz для прогнозирования потребления электроэнергии на предприятиях машиностроения" (DGU №05345).

Четвертая глава диссертации «Разработка метода прогнозирования удельного расхода электроэнергии машиностроительными предприятиями и их внедрение» посвящена разработке метода прогнозирования удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции, а также методу снижения погрешности прогнозирования при использовании разработанной и модели экономической эффективности, полученной путём применения разработанных моделей прогнозирования электропотребления.

Одним из параметров потребления электроэнергии на промышленных предприятиях является удельный расход электроэнергии на единицу выпускаемой продукции; в классическом методе этот показатель определяется на основе следующего выражения:

$$d = \frac{W}{\Pi}. \quad (12)$$

Из выражения (12) для прогнозирования удельного расхода электроэнергии на единицу выпускаемой продукции можно показать, что существует связь между удельным расходом электроэнергии и произведенным продуктом.

1) экспоненциальная связь:

$$W_i = f(\Pi_i) = a_0 \exp(a_1 \Pi_1 + a_2 \Pi_2 + \dots + a_p \Pi_p); \quad (13)$$

2) логарифмическая связь:

$$W_i = f(\Pi_i) = a_0 + a_1 \ln(\Pi_1) + a_2 \ln(\Pi_2) + \dots + a_p \ln(\Pi_p), \quad i = \overline{1, N}. \quad (14)$$

На рис 17 представлен алгоритм метода прогнозирования удельного расхода электроэнергии на единицу продукции по ее номенклатуре, и, в соответствии с этим алгоритмом разработаны методы определения показателя прогнозирования общего и удельного расходов электроэнергии на единицу выпускаемой продукции по логарифмическим и экспоненциальным функциям. На основании табл 3 определяются прогнозные показатели параметров электрической энергии и на основе этих показателей строятся графики, представленные на рис 18÷25.

Таблица 3.

Название продукции	С помощью экспоненциальной функции	
	$W=f(\Pi)$	$d=f(\Pi)$
Тягач	$W_1 = \exp(10,64405 - 0,0012425 \cdot \Pi_1)$	$d_1 = (\exp(10,64405 - 0,0012425 \cdot \Pi_1)) / \Pi_1$
Шасси	$W_2 = \exp(10,94511 - 0,0001169 \cdot \Pi_2)$	$d_2 = (\exp(10,94511 - 0,0001169 \cdot \Pi_2)) / \Pi_2$
Автобус	$W_3 = \exp(10,29329 - 0,002104 \cdot \Pi_3)$	$d_3 = (\exp(10,29329 - 0,002104 \cdot \Pi_3)) / \Pi_3$
Самосвал	$W_4 = \exp(11,09632 - 0,0001487 \cdot \Pi_4)$	$d_4 = (\exp(11,09632 - 0,0001487 \cdot \Pi_4)) / \Pi_4$

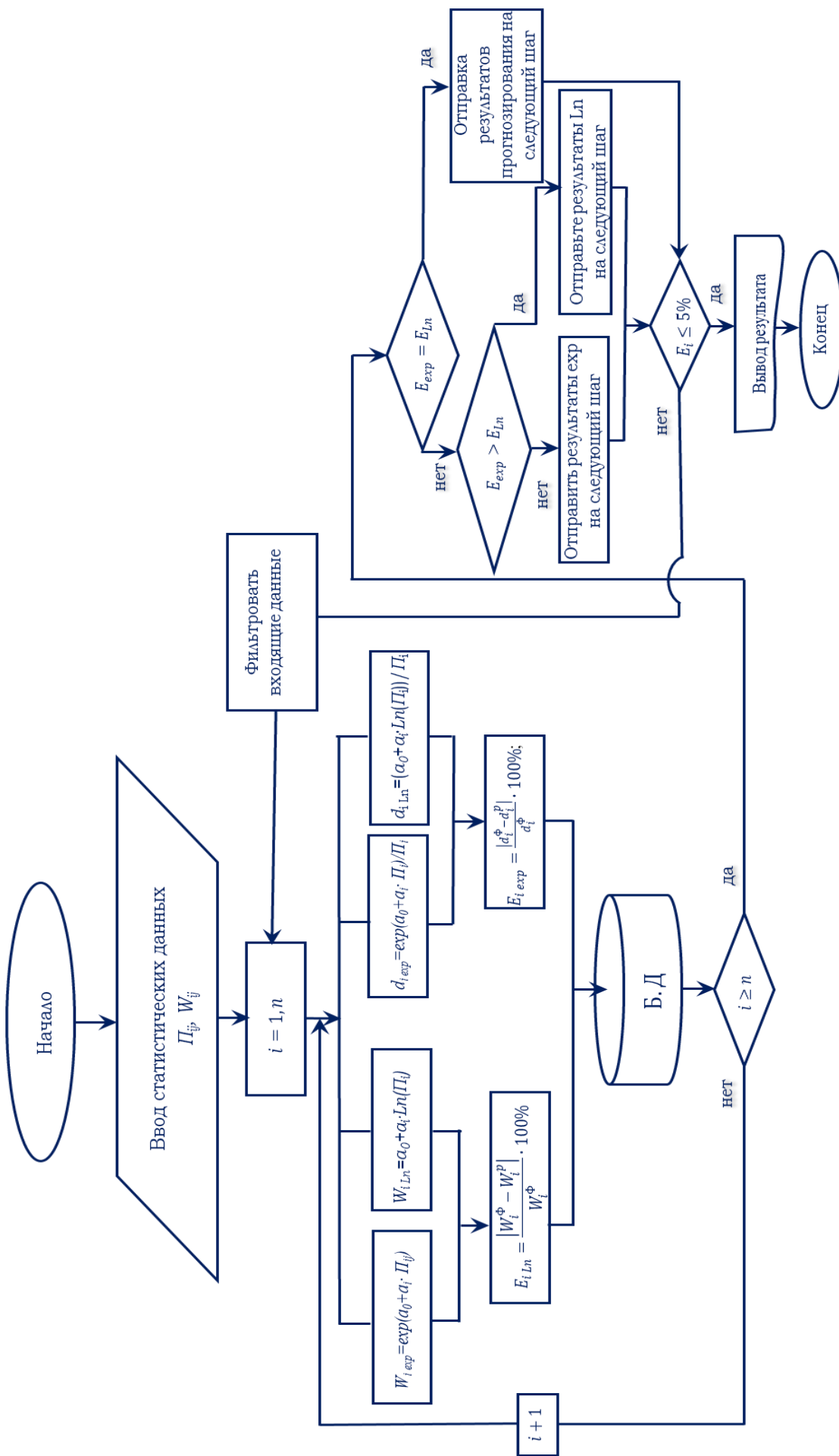


Рис. 17. Алгоритм метода прогнозирования удельного расхода электроэнергии по номенклатуре продукции

Продолжение табл. 3.

Название продукции	С помощью логарифмической функции	
	$W=f(\Pi)$	$d=f(\Pi)$
Тягач	$W_1 = -237809,6815 + 60978,502 \cdot \ln(\Pi_1)$	$d_1 = (-237809,6815 + 60978,502 \cdot \ln(\Pi_1)) / \Pi_1$
Шасси	$W_2 = -2149413,2747 + 375942,4941 \cdot \ln(\Pi_2)$	$d_2 = (-2149413,2747 + 375942,4941 \cdot \ln(\Pi_2)) / \Pi_2$
Автобус	$W_3 = -85318,2761 + 27527,5245 \cdot \ln(\Pi_3)$	$d_3 = (-85318,2761 + 27527,5245 \cdot \ln(\Pi_3)) / \Pi_3$
Самосвал	$W_4 = -1541509,3937 + 283680,4924 \cdot \ln(\Pi_4)$	$d_4 = (-1541509,3937 + 283680,4924 \cdot \ln(\Pi_4)) / \Pi_4$

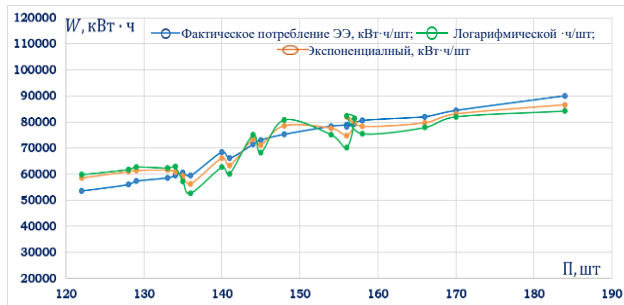


Рис.18 $W_{\text{факт}}=f(\Pi)$ и $W_{\text{прог}}=f(\Pi)$
для тягача

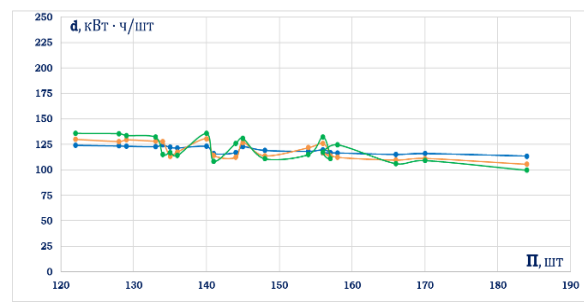


Рис.19. $d_{\text{факт}}=f(\Pi)$ и $d_{\text{прог}}=f(\Pi)$
для тягача

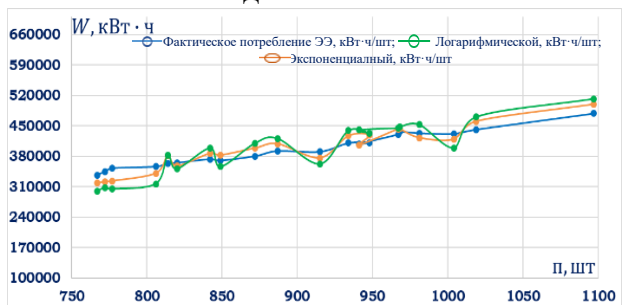


Рис.20. $W_{\text{факт}}=f(\Pi)$ и $W_{\text{прог}}=f(\Pi)$
для шасси

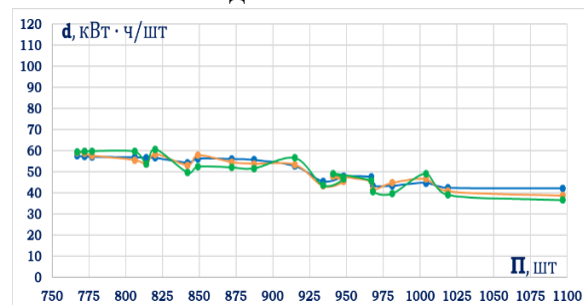


Рис.21. $d_{\text{факт}}=f(\Pi)$ и $d_{\text{прог}}=f(\Pi)$
для шасси

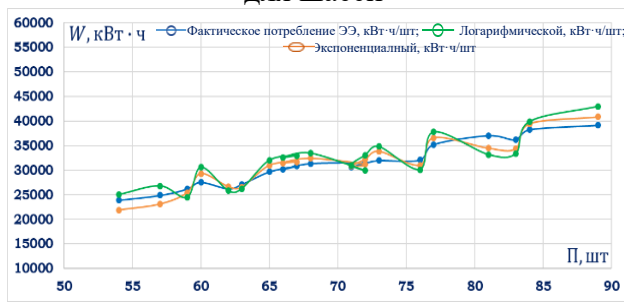


Рис.22. $W_{\text{факт}}=f(\Pi)$ и $W_{\text{прог}}=f(\Pi)$
для автобуса

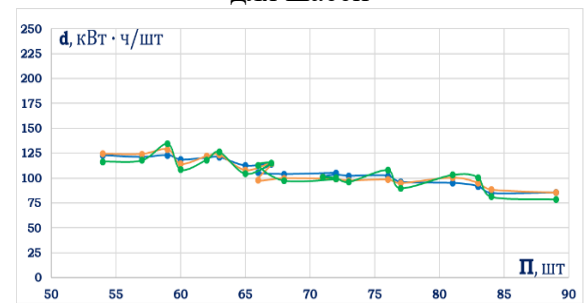


Рис.23. $d_{\text{факт}}=f(\Pi)$ и $d_{\text{прог}}=f(\Pi)$
для автобуса

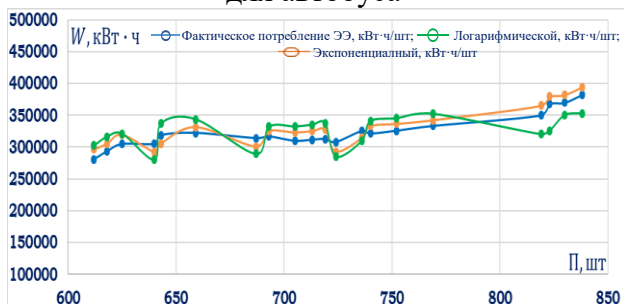


Рис.24. $W_{\text{факт}}=f(\Pi)$ и $W_{\text{прог}}=f(\Pi)$
для самосвала

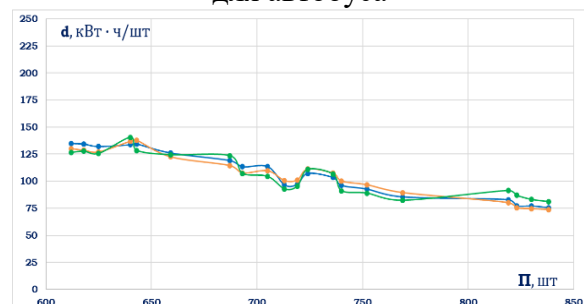


Рис.25. $d_{\text{факт}}=f(\Pi)$ и $d_{\text{прог}}=f(\Pi)$
для самосвала

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проведенных в диссертации доктора философии (PhD) на тему «Модели и алгоритмы прогнозирования параметров потребления электроэнергии (на примере СП «Uz Truck & Bus Motors»)», представлены следующие выводы:

1. Проведен анализ методов прогнозирования электропотребления промышленных предприятий и критериев их выбора, а также исследованы электропотребление и технологические процессы машиностроительных объектов. Определены закономерности изменения параметров электропотребления на основе корреляционной зависимости энергетических характеристик $W=f(\Pi)$ и $d=f(\Pi)$. В результате обеспечена возможность определения изменения значений коэффициентов корреляции в пределах 0,89-0,92, уточнена связь между параметрами электропотребления и выпуском продукции.

2. Разработаны модели и алгоритмы прогнозирования электропотребления на основе методов искусственного интеллекта и предложена модель с минимальной погрешностью прогнозирования, разработанная с помощью искусственной нейронной сети. В результате обеспечена возможность уменьшения погрешности прогнозирования электропотребления предприятий до 3%.

3. На основе проведенных экспериментальных исследований разработан метод определения прогнозного значения удельного расхода электроэнергии на единицу продукции по номенклатуре продукции машиностроительного предприятия. В результате создана возможность более точного определения целевого использования расхода электроэнергии при выпуске продукции.

4. Разработан метод минимизации погрешности моделей прогнозирования, разработанный с использованием методов прогнозирования параметров потребления электроэнергии. В результате, на основе корректировки количества и состава исходных данных, удается снизить погрешность модели прогнозирования до допустимого значения.

5. Результаты исследования внедрены на предприятии СП «Uz Truck & Bus Motors». Ожидаемая экономическая эффективность от внедрения научно-исследовательских результатов составила 103 334 000 сумов в год.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING DEGREE OF DOCTOR OF
SCIENCE DSc.03/10.12.2019.T.03.03 AT TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

NIYOZOV NUMON NIZOMIDDINOVICH

**MODELS AND ALGORITHMS FOR FORECASTING ELECTRICITY
CONSUMPTION PARAMETERS
(in the example of «Uz Truck & Bus Motors»)**

05.05.01-Energy systems and complexes

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2022

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2022.1.PHD/T1829.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian and english (resume)) on the website (www.tdtu.uz) and on the website of «ZiyoNet» Information and education portal (www.ziynet.uz).

Academic leader: **Rakhmonov Ikromjon Usmonovich**
Doctor of Philosophy of Technical Sciences (PhD),
Associate Professor

Official opponents: **Khudayarov Muzaffar Burkhanovich**
Doctor of technical sciences, senior researcher

Reimov Kamal Mambetkarimovich
Doctor of Philosophy of Technical Sciences (PhD),
Associate Professor

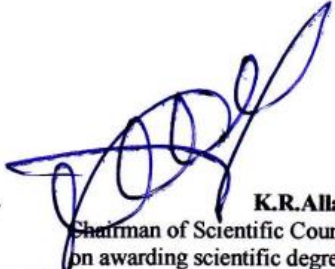
Leading organization: **Navoi State Mining Institute**

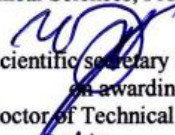
The defense of dissertation will take place on " 2 " 04 2022 at 11⁰⁰ o'clock at a meeting of the Scientific council No. DSc.03/10.12.2019.T.03.03 under Tashkent State Technical University.
Address: 100095, Tashkent, Universitet st., 2. Tel./fax: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tsu_info@tdtu.uz.

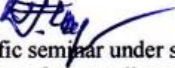
The doctoral dissertation can be reviewed at the Information-resource center of Tashkent State Technical University (is registered number No 248). Address: 100095, Tashkent, Universitet st., 2. Tel.: (99871) 227-03-41.

Abstract of the dissertation sent out on " 18 " 03 2022
(Protocol of the delivery No 2 dated " 16 " 03 2022)




K.R. Allaev
Chairman of Scientific Council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor Academician


O.H. Ishnazarov
Scientific secretary of scientific council
on awarding scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences, Professor


T.Sh. Gayibov
Chairman of scientific seminar under scientific council
for awarding scientific degrees
Doctor of Technical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The purpose of the study. Development of models and algorithms for forecasting electricity consumption parameters of machine-building enterprises.

Research objectives:

analysis of the current state of forecasting electricity consumption in industrial enterprises, as well as the technological process and power consumption of machine-building enterprises;

determination of the laws of change of electric power parameters;

development of models and algorithms for forecasting electricity and selection of the most optimal methods for forecasting electricity consumption;

Development of a method for determining the specific consumption of electricity per unit of product in terms of product nomenclature.

The object of the study was machine-building enterprises.

The subject of research is the processes of electricity consumption of a machine-building enterprise.

Research methods. In the research process, correlation and regression analysis, mathematical statistics, minimum squares, exponential, logarithmic, group accounting of arguments, methods of artificial neural networks were used to solve the problems of prediction.

The scientific novelty of the research is:

the mathematical model of determining the laws of change of parameters of electric energy is improved based on correlations of the general and specific consumption indicators depending on the volume of production;

the model and algorithm for forecasting electricity consumption has been improved based on artificial neural networks, taking into account technological, production and meteorological factors;

developed a method for determining the specific consumption of electricity in terms of product nomenclature;

the method of reducing the forecast error of electricity consumption has been developed based on the adjustment of the number and composition of the initial data.

The scope and structure of the dissertation. The content of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 119 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Rakhmonov I.U., Niyozov N.N. Analysis of existing methods of electric consumption // Scientific journal «European Science review». Austria, Vienna, 2018. - №9-10 September-October. PP. 209-211 (05.00.00 №3).

2. Rakhmonov I.U., Niyozov N.N., Lee K. Development of correlation and regression models of electric energy indicators of the equipment with continuous nature of production // Technical science and innovation, 2019, №2, -С.203-210 (05.00.00 №16).

3. Рахмонов И.У., Ниёзов Н.Н. Анализ производительности компрессорных станций на промышленных предприятиях и усовершенствование их расчета // Вестник ТашГТУ. -Ташкент, 2018. - №4. - С. 72-76 (05.00.00 №16).

4. Rakhmonov I.U., Niyozov N.N., Najimova A.M. Improving the reliability of electrical equipment in rural areas // Science and Education in Karakalpakstan. - 2020. -№1. -pp. 51-57 (05.00.00 №27).

5. Ниёзов Н.Н. Саноат корхоналарида электр энергия истеъмолени прогношлаш усуллари таҳлили // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. Тошкент, 2020. - №3-4. 214-218 б. (05.00.00 №21).

6. Bobojonov Yu.M., Najimova A.M., Niyozov N.N., Mamutov M.M. Methods for calculating energy losses in electrical networks // Science and Education in Karakalpakstan. -2021. -№1. -pp. 113-116 (05.00.00 №27).

7. Ниёзов Н.Н. Электр энергияси истеъмоли параметрларини прогношлаш хатолигини камайтириш // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари. Тошкент, 2021. - №3. 119-129 б. (05.00.00 №21).

8. Rakhmonov I.U., Najimova A.M., Niyozov N.N., Prospects for the development of cotton and textile clusters in uzbekistan // Science and Education in Karakalpakstan. -2021. -№3. -pp. 148-152 (05.00.00 №27).

II бўлим (Часть II; PartII)

9. Rakhmonov I.U., Najimova A.M., Niyozov N.N. Optimization of the operating mode of units with large Start-up power consumption // International Journal of Advanced Science and Technology. Vol. 29, №7, (2020), pp. 9323-9329. (№41. SCImago: IF = 0.11).

10. Рахмонов И.У., Ниёзов Н.Н. Программа Avto_prognoz для прогнозирования электропотребления на предприятиях машиностроения // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU №05345 31.05.2018.

11. Рахмонов И.У., Ниёзов Н.Н., Нажимова А.М., Усмоналиев С.У. Программа расчета степени снижения ошибки прогнозных значений электропотребления машиностроительного предприятия // Агентство по

интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство DGU №0868 29.03.2021.

12. Аллаев К.Р., Рахмонов И.У., Курбонов, Н.Н., Ниёзов Н.Н. Саноат корхоналарида электр энергия истеъмолини башорат қилишнинг ARIMA_PROGNOZ дастури // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги интеллектуал мулк ағетлиги DGU №13234 25.10.2021.

13. Рахмонов И.У., Нажимова А.М., Ниёзов Н.Н., Курбонов, Н.Н. Кўп факторли таҳлил асосида электр энергия истеъмолини сунъий нейрон тармоқлар асосида башоратлашнинг LSTM_PROGNOZ дастури // Ўзбекистон Республикаси Адлия вазирлиги ҳузуридаги интеллектуал мулк ағетлиги DGU №13236 25.10.2021.

14. Rakhmonov I.U., Niyozov N.N. Optimization setting of steel-smelting industry in the issue of alloy steels // E3S Web Conf. Volume 139, 2019. Rudenko International Conference “Methodological problems in reliability study of large energy systems” (RSES 2019) 01077. 1-3 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901077>.

15. Rakhmonov I., Berdishev A., Niyozov N., Muratov A. and U. Khaliknazarov. Development of a scheme for generating the predicted value of specific electricity consumption// Journal of IOP: Conference Series. MIP: Engineering-2020. 883 (2020) 012103 doi:10.1088/1757-899X/883/1/012103.

16. Рахмонов И.У., Ниёзов Н.Н. Прогнозирование общего и удельного расхода электроэнергии промышленных предприятий Сб. трудов республиканской научно и научно-технической конференции «Қайта тикланувчи энергетиканинг замонавий муаммолари». Қарши, 2018. – С.396-399.

17. Rakhmonov I.U., Niyozov N.N. Modeling power consumption modes in industrial facility // “Bridge to science: research works”. San Francisco, California, USA. April 15, 2019. – 37-40 pp.

18. Рахмонов И.У., Жалилова Д.А., Ниёзов Н.Н. Саноат корхоналарида электр энергия истеъмолини меъёрлаш – энергия самарадорлигини ошириш йўли // “Электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш ҳамда ундан оқилона фойдаланишнинг долзарб муаммолари” мавзусидаги Республика илмий-техникавий анжумани. Тошкент шаҳри 21-22 декабрь 2020 йил. 77-79 б.

19. Rakhmonov I.U., Ushakov V.Ya., Niyozov N.N., Kurbonov N.N., Mamutov M. Energy saving in industry// Energy Systems Research 2021. E3S Web of Conferences 289, 07014 (2021). doi.org/10.1051/e3sconf/202128907014.

Авореферат «ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ВА ИННОВАЦИЯ» илмий журнали тахририяида тахрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Босмахона лицензияси:



9338

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи: 2,75. Адади 100 донa. Буюртма № 25/22.

Гувоҳнома № 851684.
«Тирограф» МЧЖ босмахонасида чоп этилган.
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.